


**ОСНОВИ ПРОЄКТУВАННЯ
ПРИРОДООХОРОННОГО ОБЛАДНАННЯ ТА
СИСТЕМ**

методичні рекомендації
до виконання індивідуальних завдань

Запоріжжя 2026



УДК 504.06:62(072)
072

Рекомендовано Науково-методичною
радою ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»
(протокол № 4 від 30.01.2026 р.)

Укладачі:

Вірич С.О., канд. техн. наук, доцент

072 **Основи проєктування природоохоронного обладнання та систем** : методичні рекомендації до виконання індивідуальних завдань / уклад.: С.О. Вірич. Запоріжжя : ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», 2026. 52 с.

Дане видання спрямоване на формування у студентів комплексного підходу до розробки екологічної техніки. Методичні рекомендації до виконання індивідуальних завдань для здобувачів спеціальності 183 «Технології захисту навколишнього середовища», містять детальні алгоритми проєктування та розрахунку систем очищення атмосферного повітря (на прикладі циклонних апаратів) та стічних вод (на прикладі гідравлічних колекторів).

УДК 504.06:62(072)

© ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», 2026



ЗМІСТ

Вступ	4
1 МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ВИКОНАННЯ ІНДИВІДУАЛЬНИХ ЗАВДАНЬ	6
1.1 Індивідуальне завдання №1. Чисельне моделювання та аналіз газодинамічних процесів у циклоні в середовищі Autodesk CFD	6
1.2 Індивідуальне завдання №2. Чисельне моделювання розподілу потоків та аналіз гідравлічних втрат у водяному колекторі в Autodesk CFD	23
2. ВИМОГИ ОФОРМЛЕННЯ ІНДИВІДУАЛЬНИХ ЗАВДАНЬ	44
3. ПОДАННЯ НА ПЕРЕВІРКУ ТА КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ ІНДИВІДУАЛЬНИХ ЗАВДАНЬ	47
4. СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	49
ДОДАТОК А Приклад титульного листа	



ВСТУП

Сучасний розвиток промислової екології потребує впровадження високотехнологічних рішень, що базуються на цифровому моделюванні та прогностичній аналітиці. Ефективність природоохоронного обладнання визначається не лише якістю його проектування, а й здатністю інженерів передбачати поведінку системи у динамічних експлуатаційних умовах.

Метою даних методичних вказівок є формування у здобувачів вищої освіти навичок самостійного аналізу та верифікації проектних рішень за допомогою методів обчислювальної гідрогазодинаміки (CFD). Індивідуальні завдання спрямовані на перехід від теоретичних розрахунків до створення «цифрових двійників» обладнання, що дозволяє оцінити його ефективність без проведення високовартісних натурних випробувань.

Особливістю виконання індивідуальних робіт є робота з фіксованою 3D-геометрією апаратів, що змушує студента зосередитися на дослідженні режимних параметрів. Кожне завдання вимагає проведення серії чисельних експериментів у середовищі Autodesk CFD для виявлення критичних зон роботи обладнання.

Програма індивідуальної підготовки охоплює два стратегічні блоки:

1. Газодинамічна сепарація (Блок «Циклон»): дослідження процесів очищення повітря від механічних домішок, аналіз траєкторій часток та визначення фракційної ефективності очищення.

2. Гідравлічний розподіл (Блок «Колектор»): моделювання потоків рідини у розгалужених системах, перевірка гідравлічного балансу та рівномірності навантаження на вузли водопідготовки.

Важливою складовою завдань є розвиток компетенцій:

- Діагностика ефективності: оцінка причин проскоку часток або нерівномірного розподілу потоків.


- Аналіз зносу та опору: ідентифікація зон високої турбулентності та падіння тиску, що можуть призвести до передчасного виходу обладнання з ладу.

- Оптимізація режимів: розробка рекомендацій щодо безаварійної експлуатації при зміні вхідного навантаження.

У результаті виконання індивідуальних завдань студент має навчитися:

1. проводити комплексний CFD-аналіз природоохоронних систем;

2. інтерпретувати результати цифрового моделювання (ізополя, вектори, лінії току) для прийняття інженерних рішень;



3. обґрунтувати експлуатаційну стійкість обладнання та розробляти заходи з попередження технічних збоїв.

Академічна політика та визнання результатів
Оцінювання та апеляція:

1. Оскарження. Студент має право оскаржити оцінки згідно з Положенням про організацію освітнього процесу та Положенням про врегулювання конфліктів Метінвест Політехніки.

2. Покращення оцінок. Бали за індивідуальні завдання є остаточними (крім процедури оскарження). Оцінки за інші види контролю можуть бути покращені згідно з положеннями університету.

Визнання результатів навчання (перезарахування):

1. Обов'язкові дисципліни. Якщо результати за цією програмою були здобуті раніше, кредити можуть бути перезараховані (за погодженням з викладачем чи завідувачем кафедри).

2. Вибіркові дисципліни. Перезарахування зазвичай не здійснюється, навіть якщо курс вивчався раніше.

3. Неформальна освіта (Coursera, UdeMY тощо). Сертифікати релевантних онлайн-курсів з CFD-моделювання або промислової екології можуть бути зараховані як оцінка за відповідний блок контролю.

4. Наукова діяльність. Тези доповідей, статті за тематикою проектування екологічного обладнання або участь у профільних олімпіадах можуть бути підставою для зарахування результатів індивідуальної роботи.



1 МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ВИКОНАННЯ ІНДИВІДУАЛЬНИХ ЗАВДАНЬ

Робочою програмою дисципліни додатково передбачено виконання наступних індивідуальних завдань №1 «Чисельне моделювання та аналіз газодинамічних процесів у циклоні в середовищі Autodesk CFD» та №2 «Чисельне моделювання розподілу потоків та аналіз гідравлічних втрат у водяному колекторі в Autodesk CFD» завдання та алгоритм виконання яких наведено нижче:

1.1 Індивідуальне завдання 1. Чисельне моделювання та аналіз газодинамічних процесів у циклоні в середовищі Autodesk CFD

МЕТА ЗАВДАННЯ:

Оволодіти навичками постановки та розв'язання задач внутрішньої газодинаміки за допомогою CFD-аналізу. Вивчити вплив вхідних параметрів потоку на структуру течії, перепад тиску та ефективність сепарації в циклоні без зміни його конструктивних параметрів.

ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА:

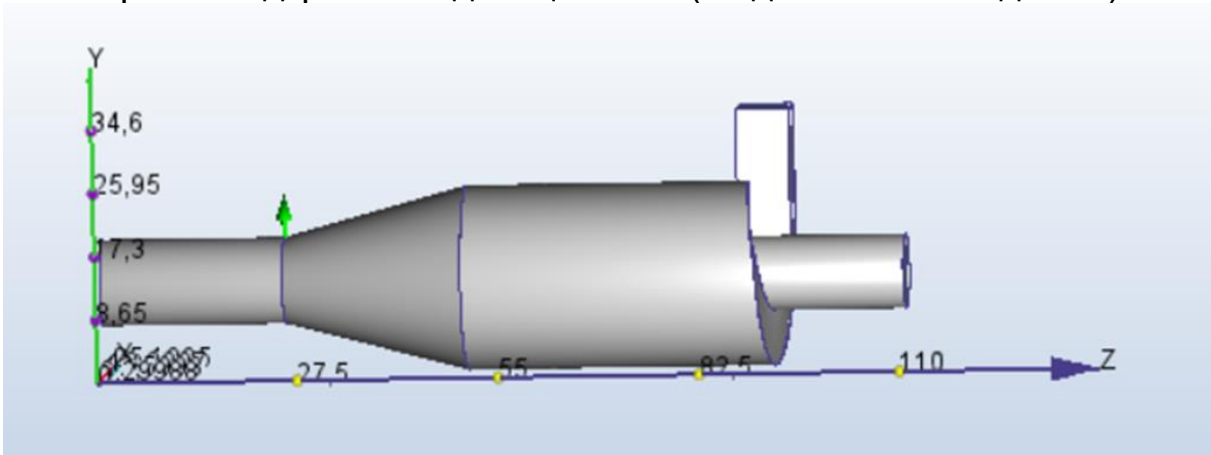
Хід дослідження (Алгоритм дій)

1. Імпорт та перевірка. Завантажте модель. Перевірте герметичність об'єму (Fluid Volume). Якщо модель «порожня», використовуйте інструмент *Void Fill* для створення розрахункової області повітря.
2. Вибір матеріалу. Призначте для внутрішнього об'єму матеріал Air (Повітря). Для стінок циклона (якщо вони включені) — Steel або залиште за замовчуванням.
3. Граничні умови (Boundary Conditions):
 1. На вхідному патрубку (Inlet) — швидкість (м/с) або об'ємна витрата (м³/год).
 2. На вихідному патрубку (Outlet) — статичний тиск (0 Па).
4. Генерація сітки (Meshing). Використайте Automatic Size. У зонах вхідного патрубка та вихлопної труби застосуйте локальне ущільнення (Region Refinement).
5. Налаштування розрахунку (Solve). Оберіть ітераційний метод розрахунку (рекомендується 100-200 ітерацій до стабілізації ліній на графіку Convergence).
6. Пост-процесинг:

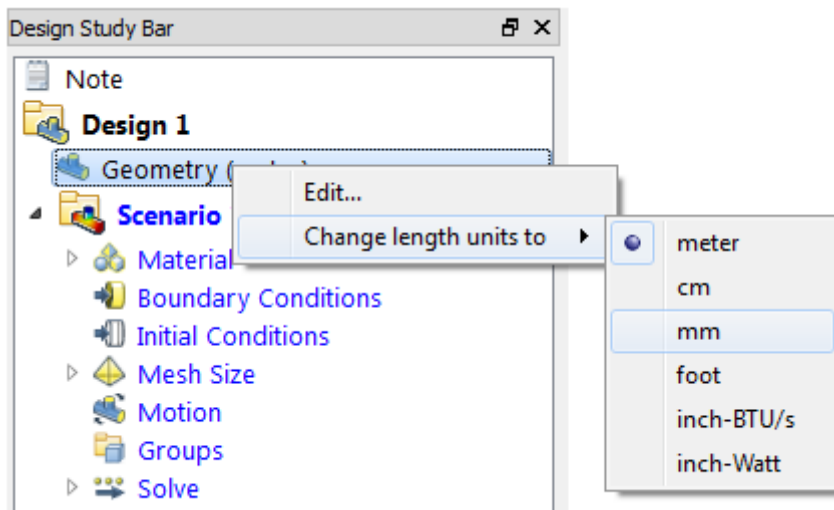
1. Створіть площини перерізу (Planes) для аналізу швидкості (V) та тиску (P).
2. Запустіть трасування частинок (Traces), щоб побачити «вихрову нитку».

ПОКРОКОВИЙ ЛІСТИНГ

Крок 1. Відкриття моделі циклона (видається викладачем)



Крок 2. Одиниці аналізу
Призначаємо аналіз в міліметрах

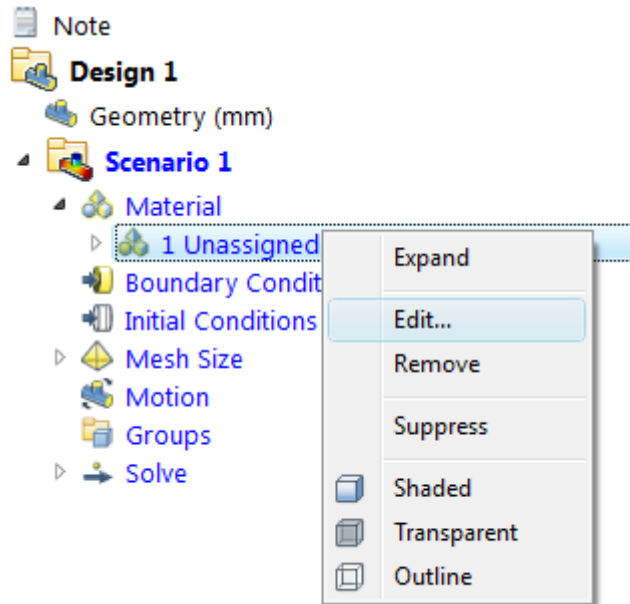


Крок 3. Призначення повітря всім деталям

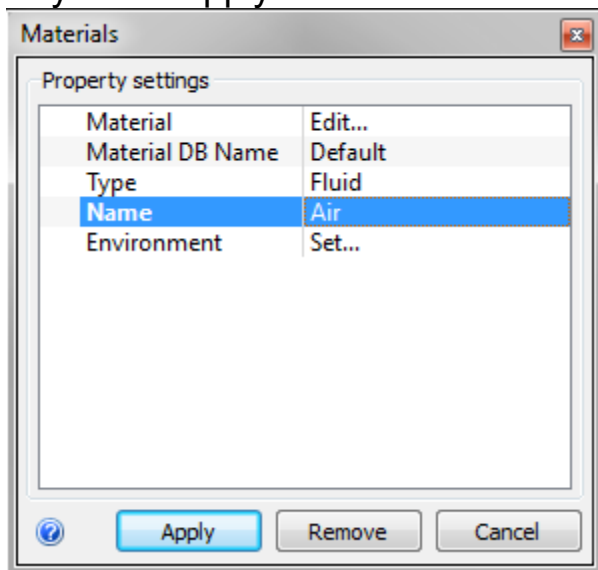
Почнемо з призначення матеріалу всім деталям у моделі. У наступних кількох кроках ми можемо змінити деякі призначення матеріалів. Цей крок – зручний спосіб переконатися, що всім деталям призначено матеріал перед початком аналізу.

На панелі дослідження проекту розгорніть гілку «Матеріал».


Клацніть правою кнопкою миші на «Непризначено» та виберіть «Редагувати...».

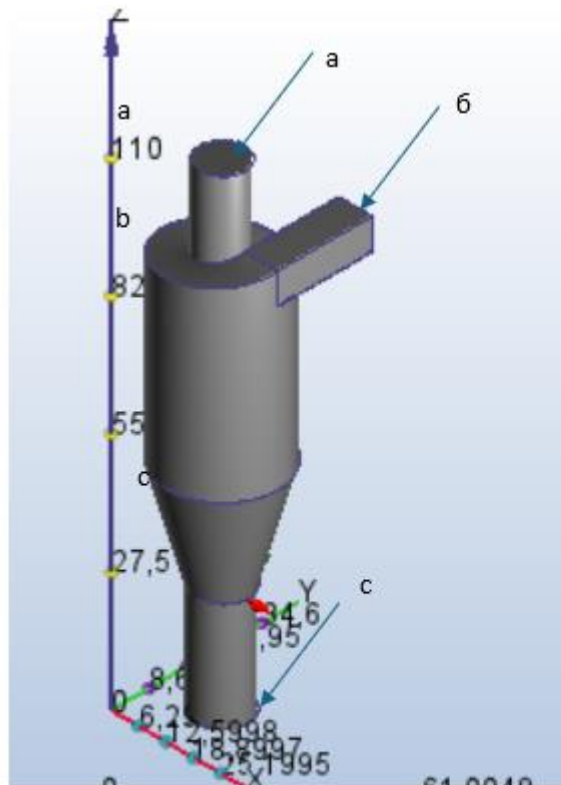
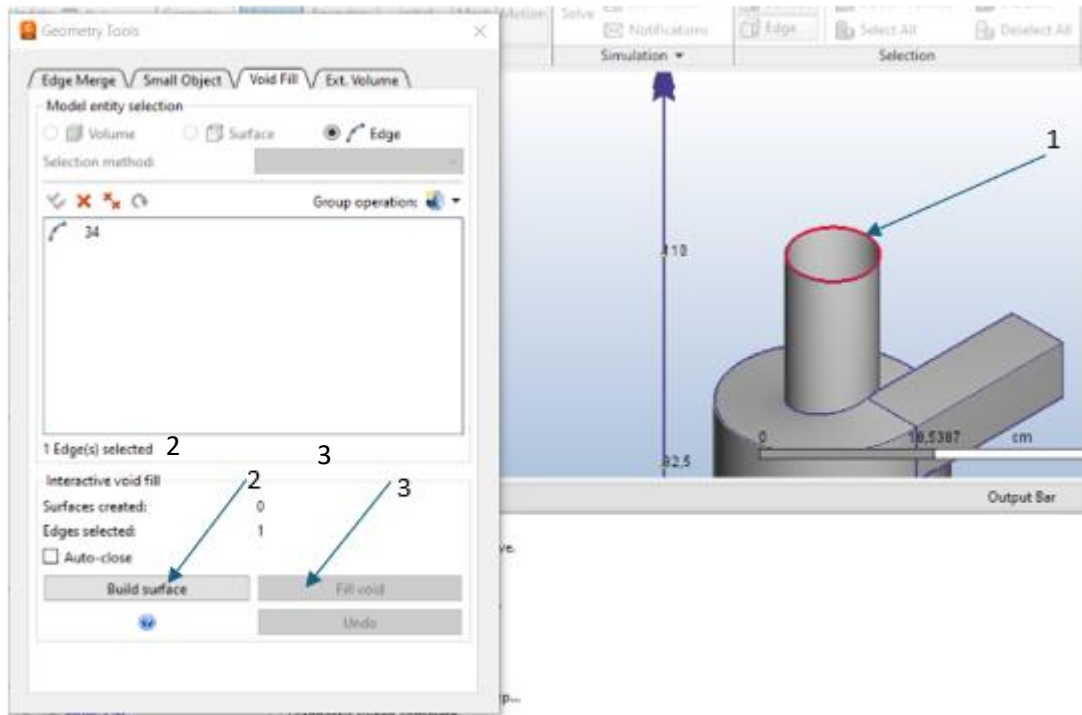


Виберіть «Повітря» Air зі списку «Назва» Name та натисніть «Застосувати» Apply.



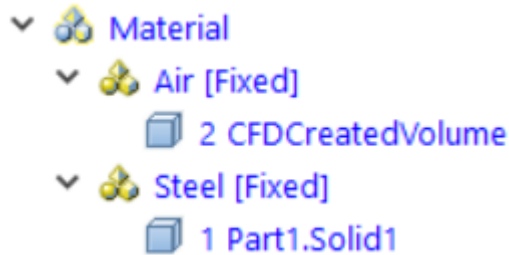
Крок 4 Корекція геометрії

За допомогою  створить засувки на усіх відкритих елементах а перед початком оперить кромку елемента 1 та виберіть функцію build surface 2

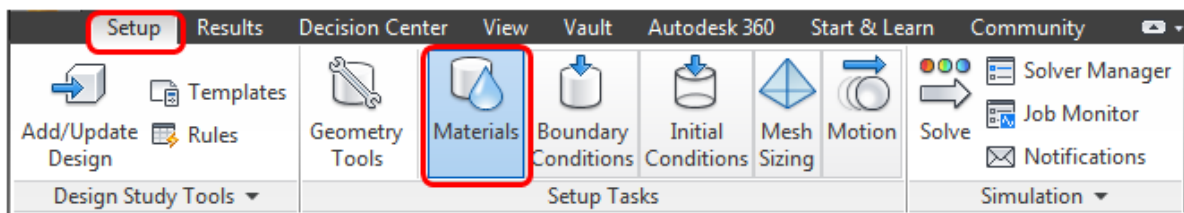




Після закінчення формування заглушок оберить функцію fill void ,якщо все зроблено вірно у дереві моделі з'явиться нове тіло



Крок 5 Призначення сталевого матеріалу твердим тілам
На вкладці «Налаштування» натисніть «Матеріали»:



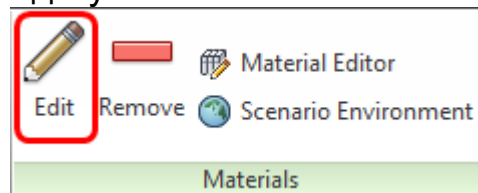
Виберіть стінку та задайте матеріал сталь (steel).

Відкрийте діалогове вікно швидкого редагування матеріалів ОДНИМ із наведених нижче способів:

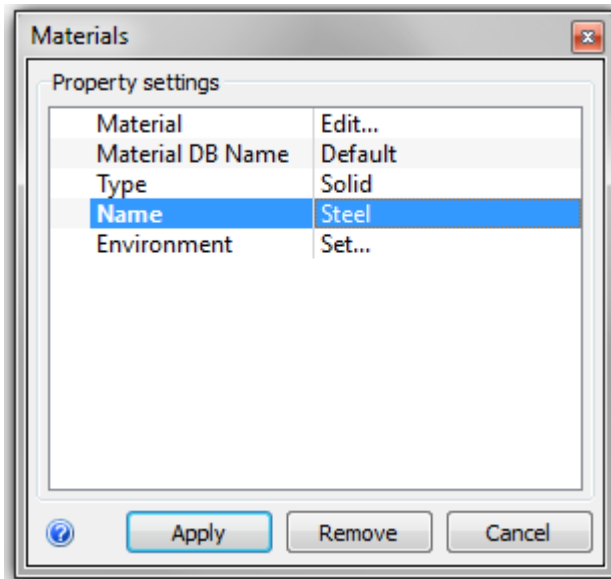
- Натисніть «Редагувати» на панелі інструментів:



- Натисніть «Редагувати» на контекстній панелі «Матеріали»:



У діалоговому вікні швидкого редагування матеріалу, тип = твердий матеріал(Solid).. Назва = сталь (Steel)



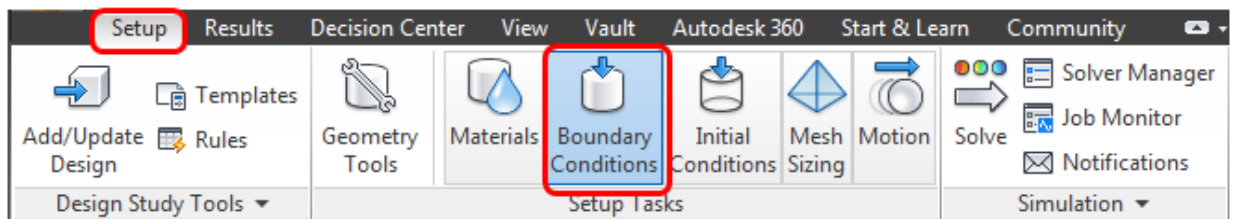
Натисніть «Застосувати» Apply.

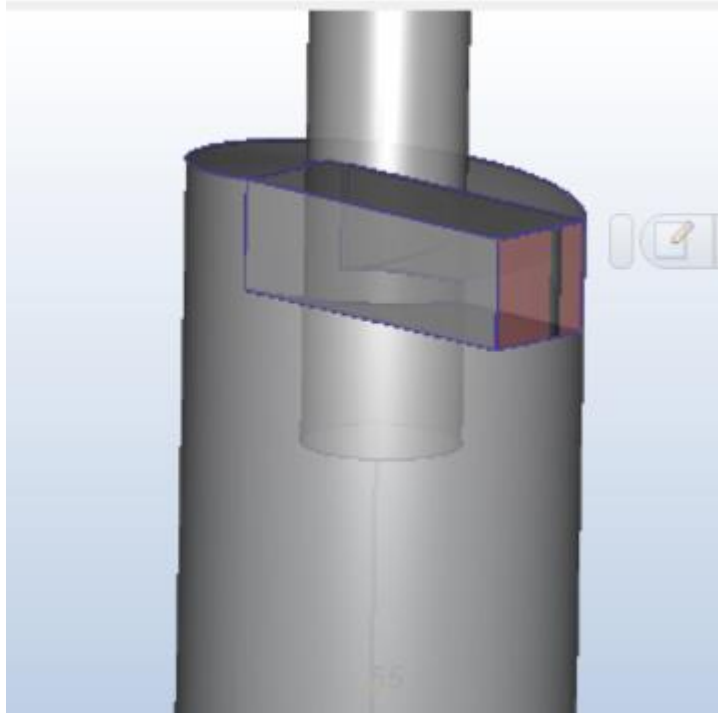
Примітка: За замовчуванням усі деталі спочатку призначені для повітря. Деталю потоку в цій моделі є повітря, тому нам потрібно змінити лише дві тверді деталі.

Так саме для нового створеного тіла задаємо матеріал повітря (air)

Крок 6. Призначення граничної умови швидкості впускного отвору

На вкладці «Налаштування» Boundary Conditions натисніть «Граничні умови» Setup:





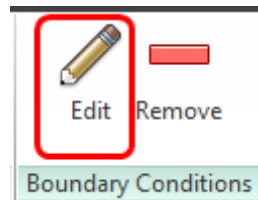
Виберіть вхідний отвір.

Відкрийте діалогове вікно швидкого редагування Boundary Conditions граничних умов ОДНИМ ONE із наведених нижче способів:

- Натисніть «Редагувати» Edit на контекстній панелі інструментів:



Натисніть «Редагувати» Edit на контекстній панелі «Граничні



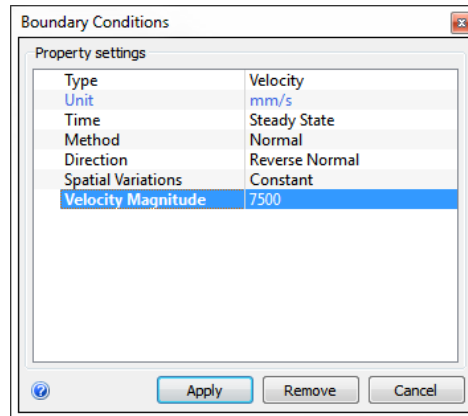
умови» Boundary Conditions :

Тип = Швидкість Velocity

Одиниці Units = мм/с



Величина швидкості Velocity Magnitude = 7500



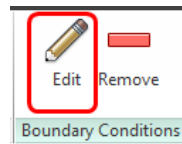
Натисніть кнопку «Застосувати» Apply.

Крок 7. Призначення граничної умови атмосферного тиску для отворів

Виберіть вихід.

Відкрийте діалогове вікно швидкого редагування граничних умов ОДНИМ із наведених нижче способів:

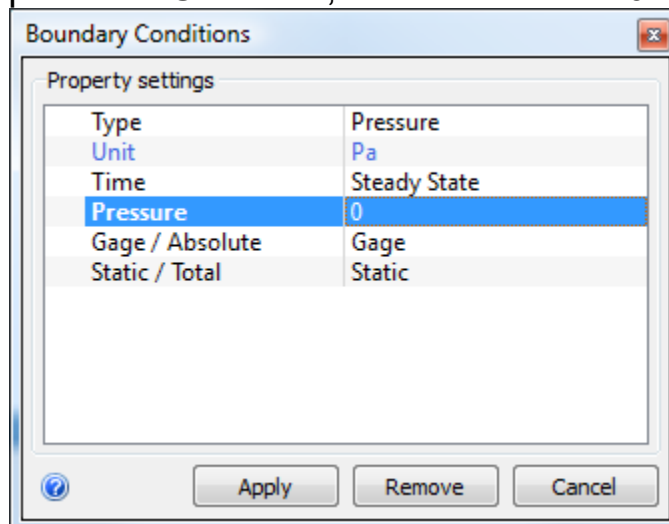
- Натисніть «Редагувати» на контекстній панелі інструментів:



- Натисніть «Редагувати» Edit на контекстній панелі «Граничні умови» Boundary Conditions :

Тип Type = Тиск Pressure

Одиниця вимірювання Unit = Па; Тиск Pressure = 0





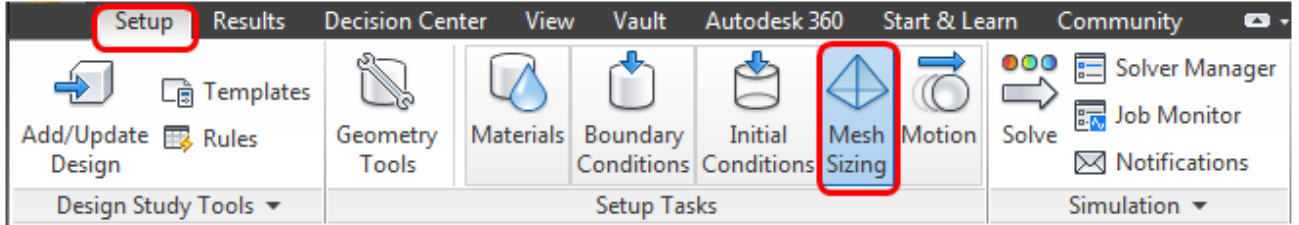
Натисніть кнопку «Застосувати» Apply.

Крок 8. Автоматичне призначення розмірів сітки

На вкладці «Налаштування» Mesh Sizing натисніть «Розмір сітки»

Setup

tab:



Застосуйте автоматичне визначення розміру сітки ОДИМ із наступних способів:

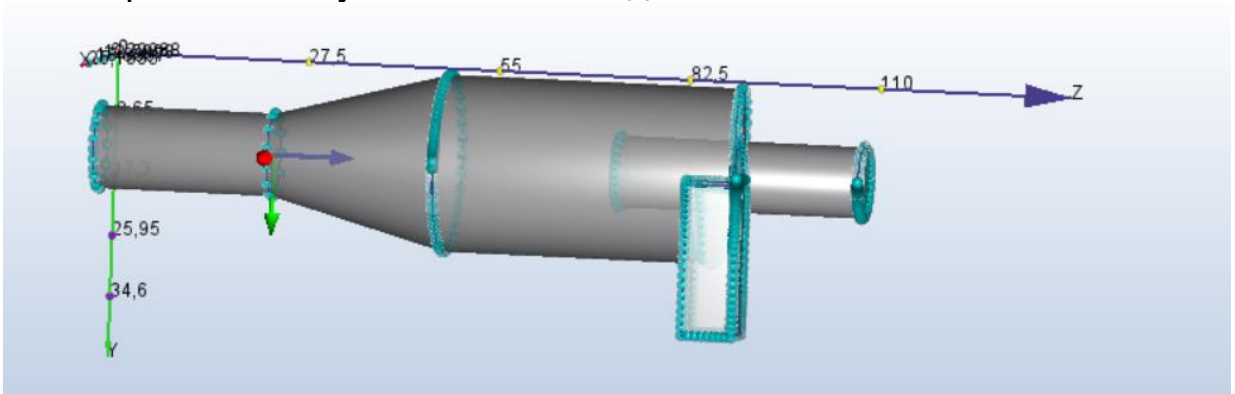
- Клацніть лівою кнопкою миші та виберіть «Автоматично змінити розмір» Autosize на контекстній панелі інструментів:



- Натисніть «Автоматичний розмір» Autosize на контекстній панелі «Автоматичне змінення розміру» Automatic Sizing :

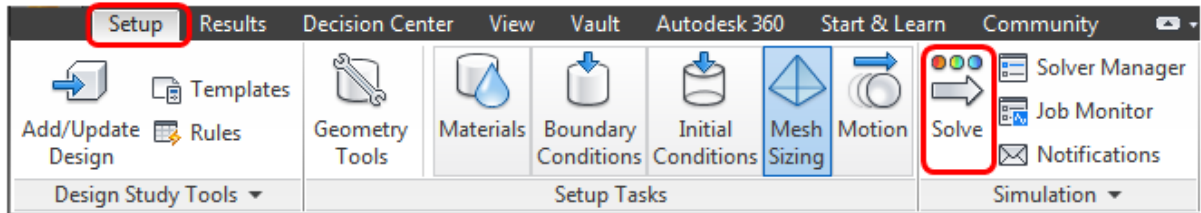


Примітка: Результат має виглядати так:



Крок 9. Розв'яжіть етап 1: Тільки потік, усталений стан

Натисніть «Розв'язати» Solve на вкладці «Налаштування» Setup:



Примітка: Для цього першого етапу аналізу ми розв'язуємо лише для потоку та нехтуємо тепловими та перехідними ефектами.

Ітерації для виконання = 100

Натисніть «Розв'язати», щоб розпочати аналіз.

Після отримання розв'язку для збіжного потоку ми знову відкриємо діалогове вікно «Розв'язати» та розв'яжемо для розподілу температури.

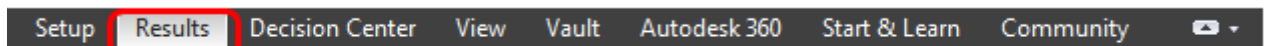
Ми встановили кількість ітерацій на 100, щоб скоротити загальний час виконання вправи. Щоб аналіз збіжності запускався автоматично, збільште кількість ітерацій до 300.

Під час створення сітки на панелі виводу відображаються інформаційні повідомлення.

Після завершення побудови сітки виконується аналіз.

Крок 11. Результати швидкості

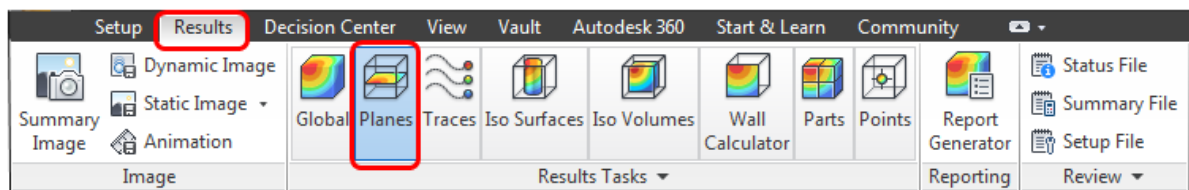
Перейдіть на вкладку «Результати».



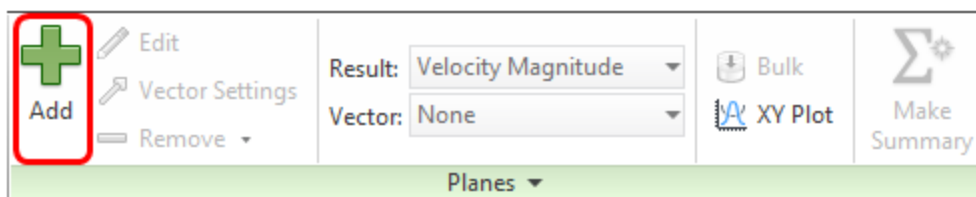
На цьому кроці ми досліджуємо результати швидкості за допомогою площини перетину та векторів.

Площини перетину показують результати на зрізі моделі. Використовуйте їх для повного розуміння потоку. Використовуйте вектори, щоб показати напрямок та величину швидкості по всьому пристрою.

Натисніть «Площини» Planes на вкладці «Результати» Results :

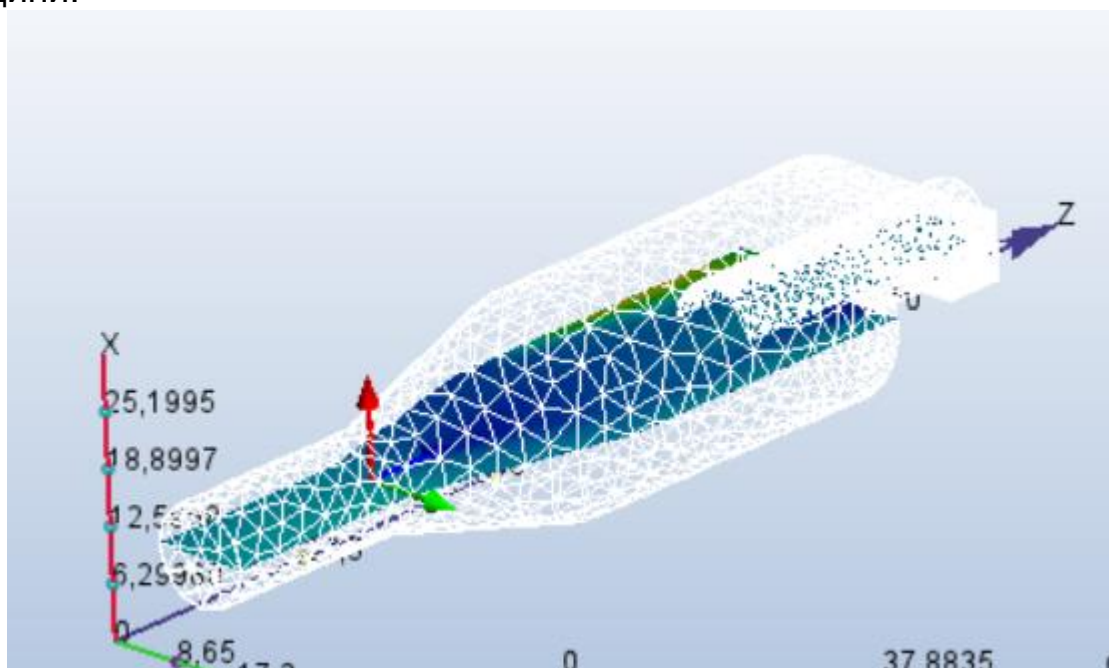


Щоб створити площину Plane,, натисніть кнопку «Додати» Add на контекстній панелі «Площини» Planes:

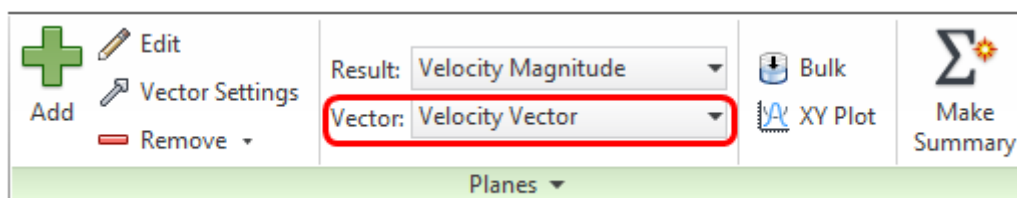


Щоб зорієнтувати площину, клацніть на ній лівою кнопкою миші та виберіть Z на контекстній панелі інструментів:

Щоб перемістити площину, перетягніть нормаль осі тріади до площини.



Щоб відобразити вектори, виберіть «Вектор швидкості» Velocity Vector з меню «Вектор» Vector на контекстній панелі «Площини» Planes:



Щоб налаштувати інтервал між векторами:

1. Натисніть кнопку «Редагувати» Edit на контекстній панелі «Площини» Planes.

2. У діалоговому вікні «Керування площиною» Plane Control перетягніть повзунок «Інтервал сітки» Grid spacing у напрямку «Високо» Fine. (Це знаходиться ближче до нижньої частини діалогового вікна.)

Щоб відобразити вектори різної довжини (масштабовані за допомогою швидкості):

1. Перейдіть на вкладку «Налаштування вектора» Vector settings.

2. У групі «Довжина» Length виберіть «Діапазон довжини» Length range.

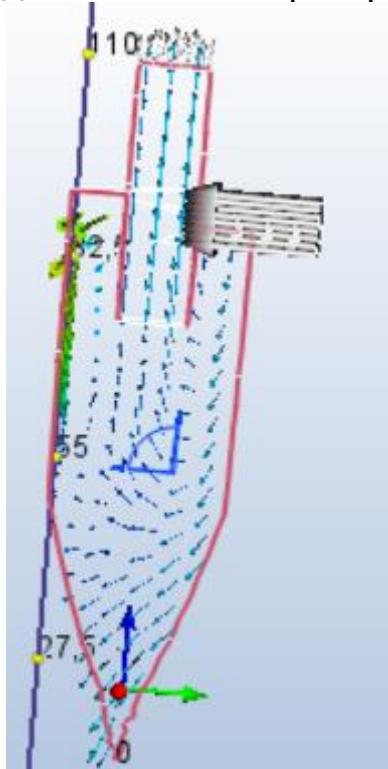


3. Перетягніть повзунок « Min» ліворуч, а повзунок «Max» праворуч.

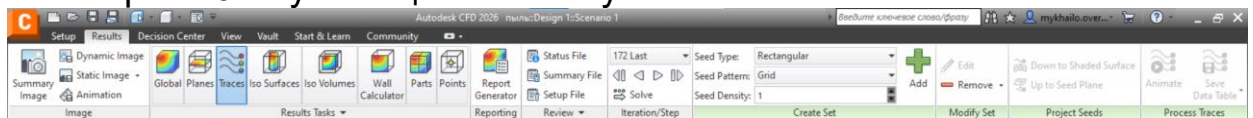
Щоб приховати контури, клацніть правою кнопкою миші на площині та виберіть «Контур» Outline.

Перемістіть площину розрізу ближче до грані симетрії та збільште масштаб до вигинальної частини.

Примітка: Ви можете побачити область рециркуляції за тарілкою. Завжди гарною ідеєю є звертати увагу на такі деталі потоку. Ця інформація може допомогти вам приймати рішення щодо проектування, але її нелегко отримати за допомогою лабораторних випробувань.



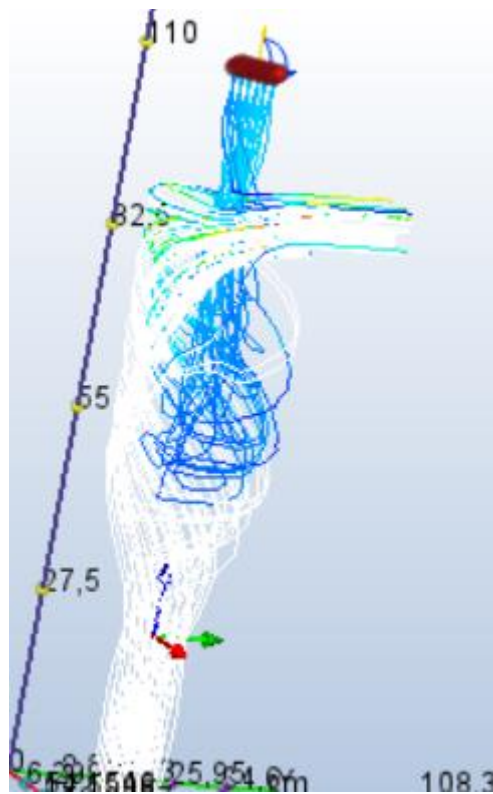
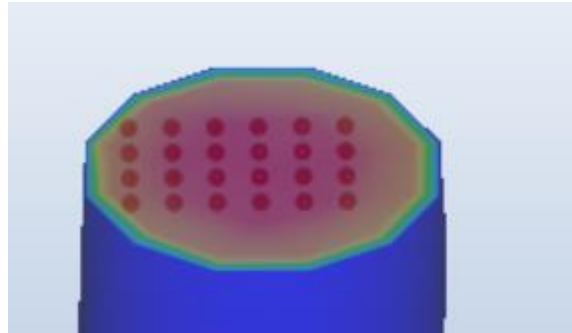
Крок 10 візуалізація ліній току

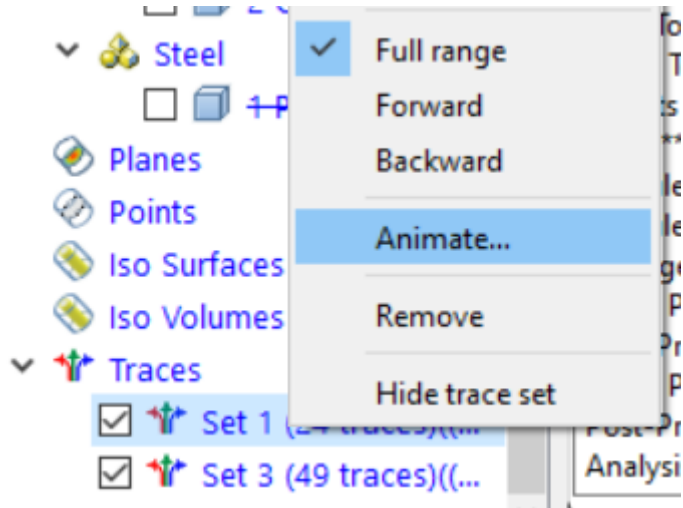


Оберіть tracer та натисніть кнопку Add



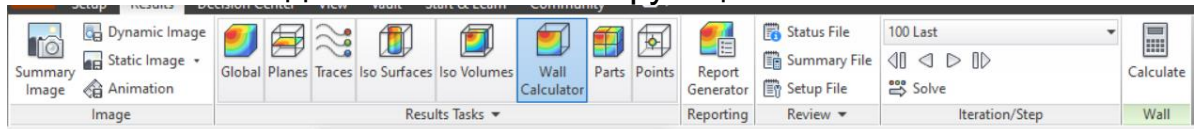
Та натискаючи мишу обираємо необхідну кількість ліній току (на отворі а) та с) крок 4.



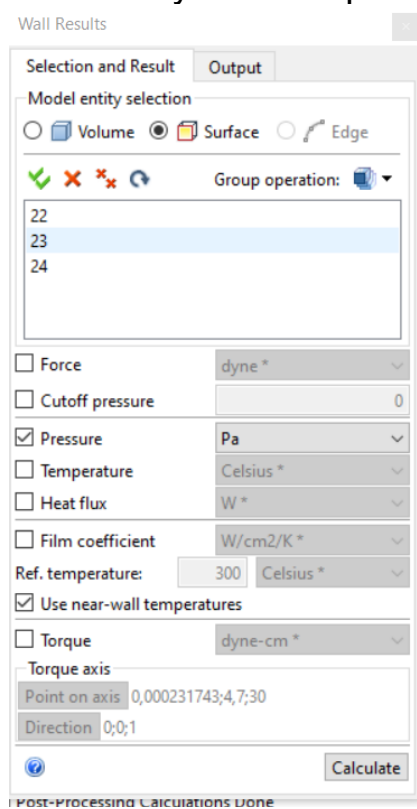


Крок 12 вибір кількості тиску

За допомогою функції Wall calculator



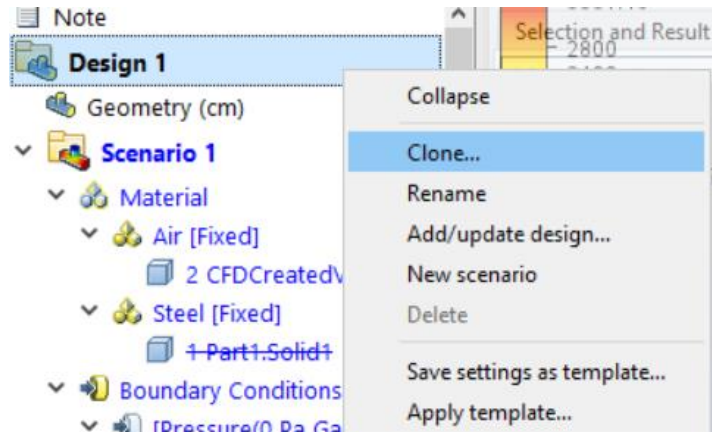
Отримаємо результати тиску на всіх трьох отворах a,b,c



Якщо розрахунки вірні результати величини тиску на отворі b запусемо у таблицю

Швидкість	15	25	45	55	75
m/c					
Тиск, Па	15	25	45	55	75

Для подальших вимірювань необхідно клонувати проект та змінювати швидкість



ПОШИРЕНА ПОМИЛКА.

В Autodesk CFD частки (пил) зазвичай додаються не через вкладку матеріалів, а через інструмент Particle Traces на етапі аналізу результатів.

У цій програмі пил розглядається як "масові точки", що рухаються в потоці газу. Ось покрокова інструкція, як це налаштувати:

Як додати частки пилу в Autodesk CFD.

1. Запуск розрахунку. Спочатку потрібно провести базовий розрахунок руху повітря (без часток) до збіжності.

2. Перехід до результатів. Перейдіть на вкладку Results (Результати) та оберіть інструмент Traces (Трасування).

a) Створення точок впорскування (Seeds):

b) У панелі керування натисніть Add.

c) Оберіть тип розповсюдження (Seed Type), наприклад, Circular (Круговий) або Rectangular (Прямокутний).

d) Клацніть на вхідному отворі (Inlet) циклона, щоб створити сітку точок, з яких "вилітатимуть" частки.

3. Налаштування властивостей пилу (Критичний момент!):

У тому ж меню Traces натисніть кнопку Mass (Маса).

a) Поставте галочку Enable Mass (Увімкнути масу).

b) Введіть значення згідно з варіантом:

- Density (Щільність, ρ_p): наприклад, 2650 кг/м³ для кварцу.

- Radius (Радіус, r_p): Зверніть увагу, що у варіантах зазвичай вказується діаметр (μm), тому в програму треба вводити половину значення.

4. Врахування гравітації:



В активному вікні "Mass" натисніть Gravity і переконайтеся, що вектор сили тяжіння спрямований вниз (зазвичай це -9.81 по осі Y або Z, залежно від орієнтації моделі).

Що це дає для дослідження?

Коли вмикається "Massed Particles", бачимо, що траєкторії часток відрізняються від ліній току повітря:

- Важкі частки під дією центробіжної сили будуть притискатися до стінок і спускатися в бункер.
- Дуже дрібні частки можуть виноситися потоком через верхню трубу.

Візуалізація результатів.

Щоб звіт виглядав професійно, потрібнор використовувати такі режими відображення часток:

- Cylinders (Циліндри) або Spheres (Сфери) для об'ємного вигляду.
- Color by Velocity (Колір за швидкістю), щоб побачити, де пил сповільнюється.

ЗАВДАННЯ:

1. Виконати імпорт наданої 3D-моделі циклона в середовище Autodesk CFD.
2. Побудувати скінченно-елементну сітку (Mesh), адаптовану до зон з високим градієнтом швидкості.
3. Налаштувати граничні умови (Boundary Conditions) згідно з варіантом.
4. Провести розрахунок (Simulation) до досягнення збіжності результатів.
5. Візуалізувати результати: поля швидкостей, тиску, траєкторії частинок.
6. Визначити гідравлічний опір апарату та зробити висновки про його ефективність.

Студент обирає варіант за номером у списку. 3-D модель видається викладачем, також коли студент не може використовувати додаток, викладач надає доступ через свій комп'ютер. Геометрія однакова для всіх, змінюються лише вхідні дані та тип частинок для аналізу.

Таблиця 1.1 - Вихідні дані до індивідуального завдання №1

№ вар.	Швидкість на вході (м/с)	Температура повітря (°С)	Тип пилу (щільність, кг/м ³)	Розмір частинок (µм)
1	12	20	Кварцовий пил (2650)	5
2	15	20	Кварцовий пил (2650)	10
3	18	20	Сажа (1800)	2
4	20	25	Деревний пил (600)	20
5	22	25	Цементний пил (3100)	15
7	16	60	Кварцовий пил (2650)	12
8	25	20	Металевий пил (7800)	5
9	10	15	Деревний пил (600)	50
10	13	30	Сажа (1800)	1
11	17	20	Вапняк (2700)	10
12	19	50	Попіл (900)	15
13	21	20	Кварцовий пил (2650)	3
14	24	20	Абразивний пил (3900)	7
15	11	20	Зерновий пил (800)	30



1.2 Індивідуальне завдання 2. Чисельне моделювання розподілу потоків та аналіз гідравлічних втрат у водяному колекторі в Autodesk CFD

МЕТА ЗАВДАННЯ:

Отримати навички моделювання руху нестисливої рідини у розгалужених трубопроводах. Навчитися визначати коефіцієнти розподілу потоку між споживачами та оцінювати гідравлічний опір системи залежно від вхідних параметрів.

ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА:

Хід дослідження

1. Імпорт та перевірка: Завантажте модель. Перевірте герметичність об'єму (Fluid Volume). Якщо модель «порожня», використайте інструмент *Void Fill* для створення розрахункової області повітря.

2. Підготовка моделі: Використайте Geometry Tools -> Void Fill, щоб заповнити внутрішню порожнину колектора "водою".

3. Матеріал: Призначте об'єму рідини матеріал Water (Вода) з бібліотеки Autodesk CFD. Перевірте властивості (густина, в'язкість) залежно від температури у варіанті.

4. Граничні умови (Boundary Conditions):

1) Inlet (Вхід). Задати швидкість (м/с) або об'ємну витрату ($\text{м}^3/\text{год}$).


2) Outlets (Виходи 1, 2, 3). Задати статичний тиск $P = 0$ Па (Gage) для всіх трьох виходів. Це дозволить програмі самій розрахувати, скільки рідини «підє» в кожен патрубок залежно від його діаметра та опору.

5. Сітка (Mesh). Використайте Size Adjustment. Особливу увагу приділіть зонам розгалуження потоку (використовуйте Surface Refinement).

6. Розрахунок. Вкладка Solve. Для води можна вимкнути розрахунок теплообміну, якщо температура стала, щоб пришвидшити процес.

7. Аналіз результатів. Використайте інструмент Bulk Selection (або Summary Editor), щоб дізнатися точну масову витрату (кг/с) на кожному з трьох виходів.

Важливо розуміти, що в Autodesk CFD ми не просто вибираємо назву режиму зі списку, а налаштовуємо математичну модель турбулентності, яка відповідає фізиці процесу. Четвертий стовпчик



таблиці — це орієнтир для студента, який він має підтвердити розрахунком та налаштуванням програми.

Рекомендації щодо вибору та налаштування режиму течії.

Перед початком розрахунку студент повинен обґрунтувати вибір моделі течії.

Крок 1: Попередній розрахунок числа Рейнольдса (Re)

Програма автоматично не каже "тут турбулентний режим", поки ви не запустите розрахунок. Тому спочатку обчислюємо вручну:

$$Re = \frac{V \cdot D}{\nu}$$

де:

V — швидкість на вході (м/с);

D — діаметр вхідного патрубку (м);

ν — кінематична в'язкість води (для 20° С = 10⁻⁶ м²/с).

Критерії вибору:

Re < 2300: Ламінарний режим.

2300 < Re < 4000: Перехідний режим.

Re > 4000: Турбулентний режим.

Крок 2: Налаштування в інтерфейсі Autodesk CFD

Коли студент натискає кнопку Solve (Вирішити) на верхній панелі, відкривається діалогове вікно. Потрібно перейти на вкладку Physics (Фізика) -> кнопка Turbulence (Турбулентність).

Як виставляти параметри залежно від варіанта:

1. Для Ламінарного режиму (низькі швидкості):

1) У вікні *Turbulence*, у випадаючому списку виберіть *Laminar*.

2) Це вимкне додаткові рівняння турбулентності, що зробить розрахунок точнішим для повільних потоків.

2. Для Турбулентного режиму (більшість варіантів):

1) Виберіть модель *Standard k-epsilon* (це "золотий стандарт" для інженерних розрахунків).

2) *Додаткова порада*: Для кращої збіжності в налаштуваннях *Advection* (Адвекція) рекомендується вибрати *ADV 5* (вона найбільш стабільна для таких задач).

Для Перехідного режиму. Виберіть модель *SST k-omega*. Вона краще за інших справляється з потоками, де режим змінюється з ламінарного на турбулентний.

Крок 3: Перевірка після розрахунку

Після завершення ітерацій маєте перевірити значення *Eddy Viscosity* (Турбулентна в'язкість) на площинах (*Planes*):

• Якщо вона майже всюди дорівнює 0 — потік дійсно ламінарний.

- якщо вона в десятки разів перевищує молекулярну в'язкість — режим турбулентний.

Додаткові поради:

- Температура має значення: Нагадайте студентам, що при зміні температури (наприклад, до 80⁰ С в'язкість води падає, і навіть при низькій швидкості потік може стати турбулентним. Програма Autodesk CFD враховує це автоматично, якщо в налаштуваннях матеріалу (Water) стоїть параметр *Variable* (Змінна залежно від температури).

- Збіжність (Convergence): Для турбулентних режимів графік збіжності може "коливатися". Поясніть студентам, що це нормально для завихрень у колекторі, і потрібно дочекатися, поки лінії стануть горизонтальними.

Процедура вилучення точних числових даних — це найважливіший етап, оскільки саме ці цифри ляжуть в основу розрахунків у звіті. В Autodesk CFD Summary Editor дозволяє не просто подивитися на колір потоку, а отримати точні значення витрати (кг/с або м³/год) та тиску (Па).

Ось детальна інструкція для студентів, як це зробити двома способами.

Процедура отримання даних про витрату та тиск.

Щоб порівняти, скільки води зайшло в колектор і скільки витекло через кожен патрубок, виконайте наступні кроки:

Спосіб 1: Через Summary Entities (Найбільш професійний)

Цей метод дозволяє зафіксувати дані для подальшого порівняння в "Центрі прийняття рішень" (Decision Center).

1. Створення поверхонь для аналізу:
 - 1) Перейдіть на вкладку Results (Результати).
 - 2) Оберіть інструмент Planes (Площини).
 - 3) Натисніть Add (Додати) і розташуйте площини точно на вхідному та трьох вихідних отворах.
2. Призначення статусу "Summary":
 - 1) Виділіть площину на вході.
 - 2) У контекстному меню (або на верхній панелі) натисніть на іконку Summary (золота зірочка).
 - 3) Повторіть це для всіх вихідних патрубків. У дереві проекту (Design Study Bar) у розділі *Setup* з'являться відповідні "Summary Entities".
3. Вилучення даних через Summary Editor:



1) Натисніть велику кнопку Summary Editor на вкладці результатів.

2) У вікні, що відкрилося, оберіть потрібні параметри: Volume Flow Rate (Об'ємна витрата) або Mass Flow Rate (Масова витрата).

3) Натисніть Update Reference Values. Програма виведе таблицю з точними цифрами для кожного отвору.

Спосіб 2: Через Bulk Selection (Швидкий спосіб)

Якщо потрібно просто швидко вписати одне число:

1. На вкладці Results оберіть інструмент Bulk (Виділення об'єму/поверхонь).

2. Оберіть режим вибору Surfaces (Поверхні).

3. Клацніть на вхідну (або вихідну) поверхню патрубку.

4. У вікні Output Bar (внизу екрана) миттєво з'явиться детальна інформація:

1) *Volume Flow* (Об'ємна витрата);

2) *Mass Flow* (Масова витрата);

3) *Pressure* (Середній тиск на цій поверхні).

Додаткова пропозиція щодо візуалізації.

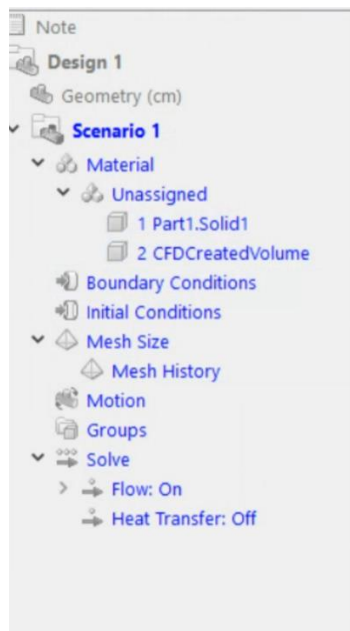
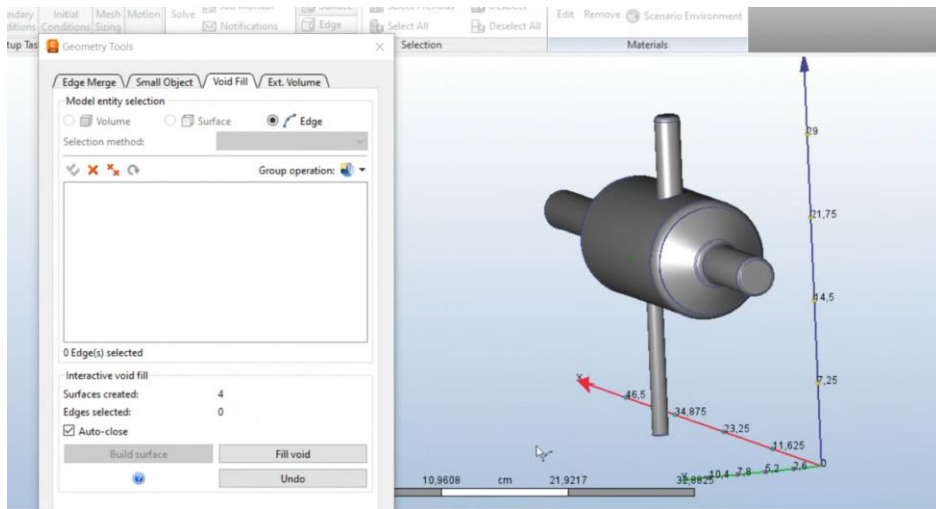
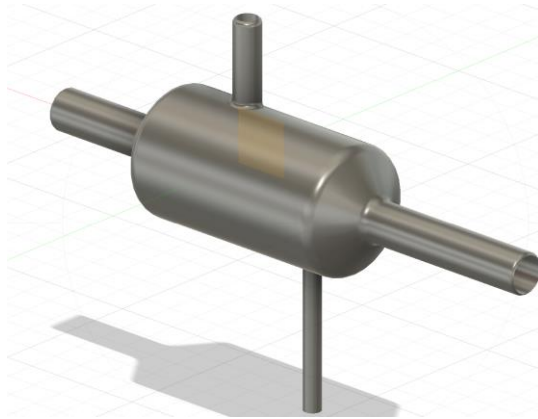
Пропоную зробити скріншот "Particle Traces", зафарбованих за "ID" (ідентифікатором). Це дуже красиво виглядає: від входу йдуть лінії одного кольору, а після розгалуження видно, яка саме "частина" води куди потрапила. Це дає фізичне розуміння того, як розділяються потоки.

ПОКРОКОВИЙ ЛІСТИНГ

Моделюємо колектор з трьома вихідними патрубками.

Крок 1.

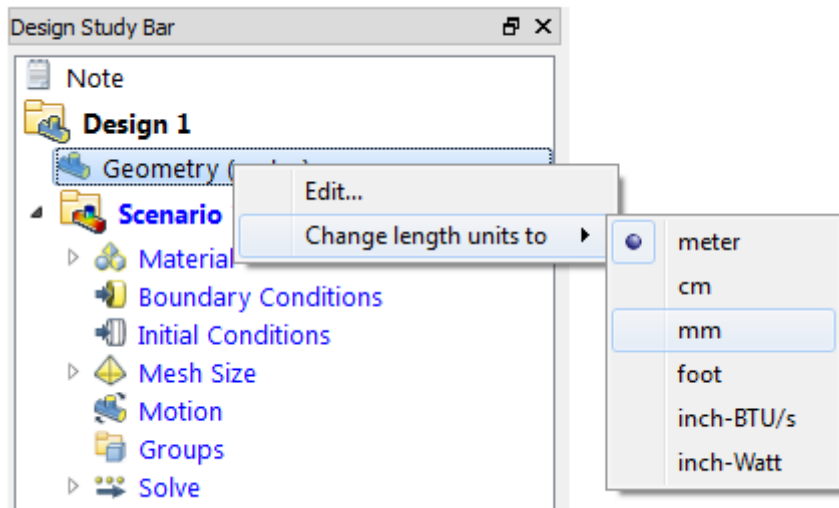
Геометрія складається з вхідної труби, трьох вихідних трубок та розподільної камери.



Крок 2 Одиниці аналізу

Якщо ви запускаєте з Autodesk, одиниці вимірювання моделі для цього прикладу автоматично встановлюються на мм. Для призначення одиниць довжини не потрібно жодних подальших кроків.

Якщо ви запускаєте з інших інструментів САПР або з робочого столу, змініть одиниці довжини на мм, клацнувши правою кнопкою миші на гілці «Геометрія» на панелі дослідження проекту:

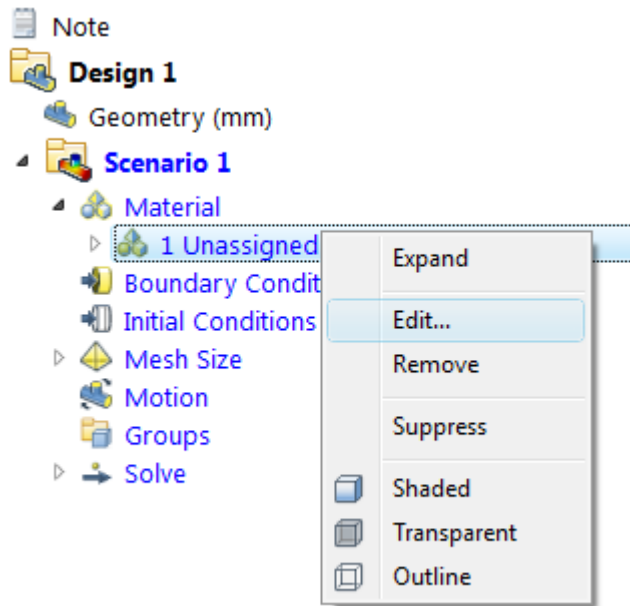


Крок 3 Призначення повітря всім деталям

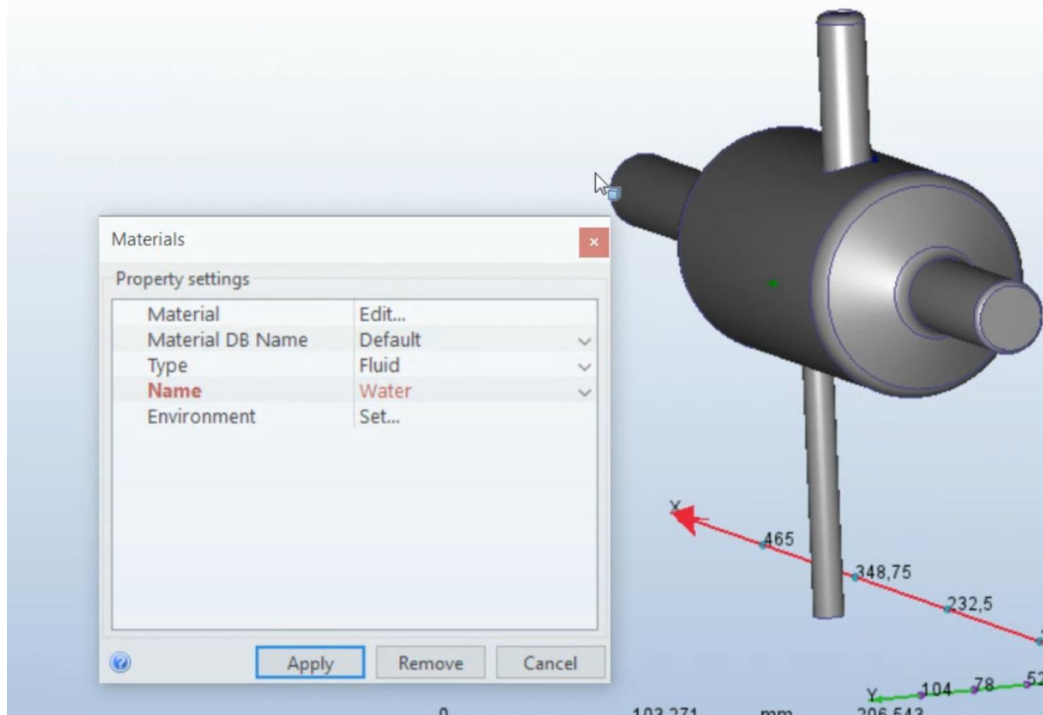
Почнемо з призначення матеріалу всім деталям у моделі. У наступних кількох кроках ми можемо змінити деякі призначення матеріалів. Цей крок – зручний спосіб переконатися, що всім деталям призначено матеріал перед початком аналізу.

На панелі дослідження проекту розгорніть гілку «Матеріал».

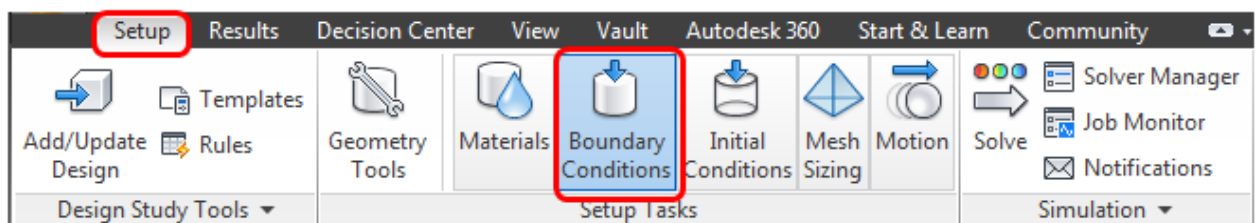
Клацніть правою кнопкою миші на «Непризначено» та виберіть «Редагувати...».

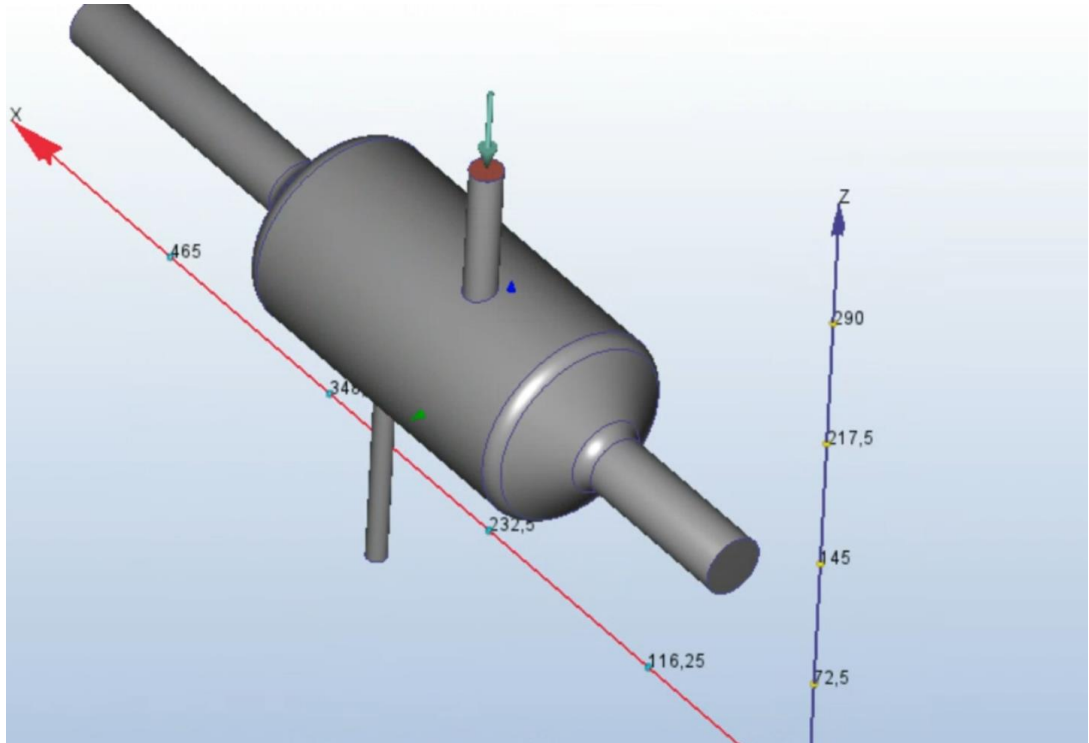


Виберіть «вода» зі списку «Назва» та натисніть «Застосувати».



Крок 3. Призначте швидкість = 3000 мм/с для входу
 На вкладці «Налаштування» натисніть «Граничні умови»:

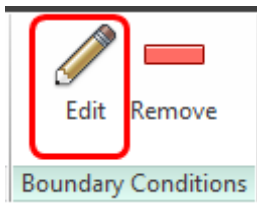




- Відкрийте діалогове вікно швидкого редагування «Граничні умови» ОДНИМ із наведених нижче способів:
- Натисніть «Редагувати» на контекстній панелі інструментів:



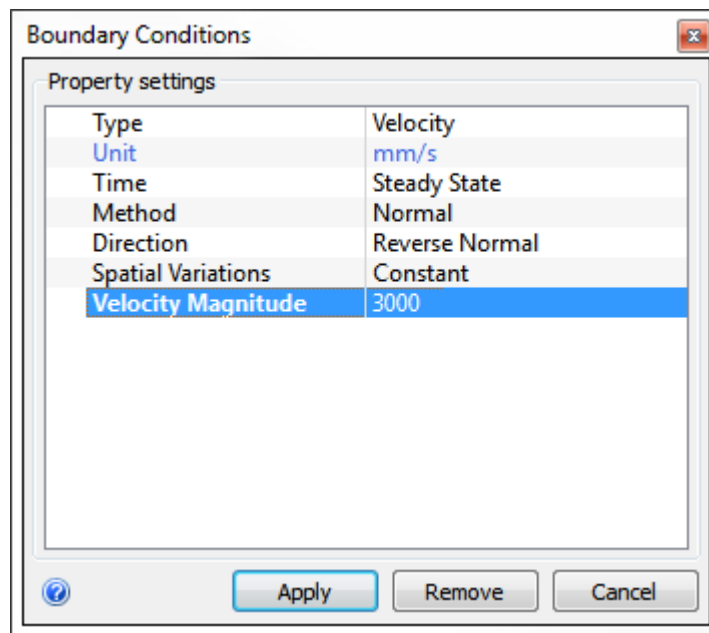
- Натисніть «Редагувати» на контекстній панелі граничних умов:



Тип = Швидкість
Одиниці = мм/с



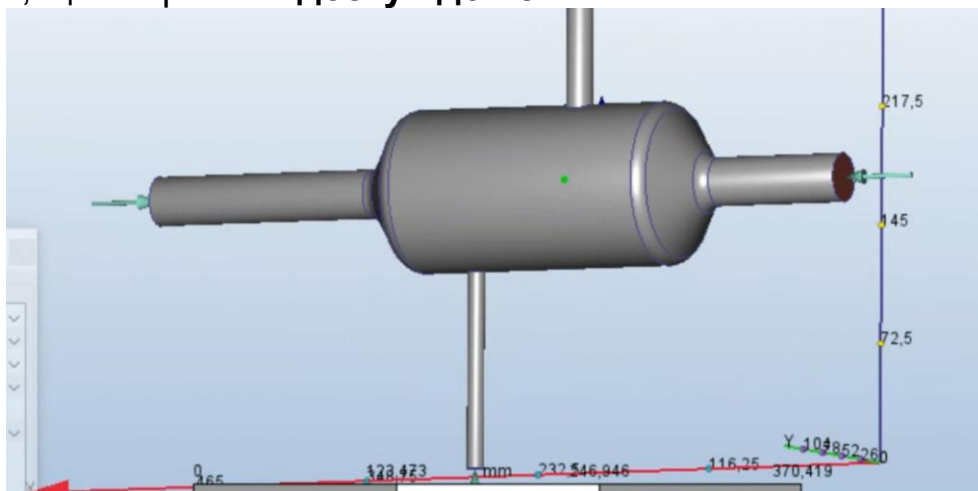
Величина швидкості = 3000

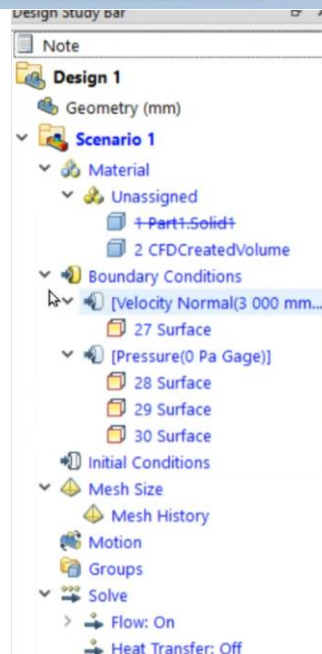
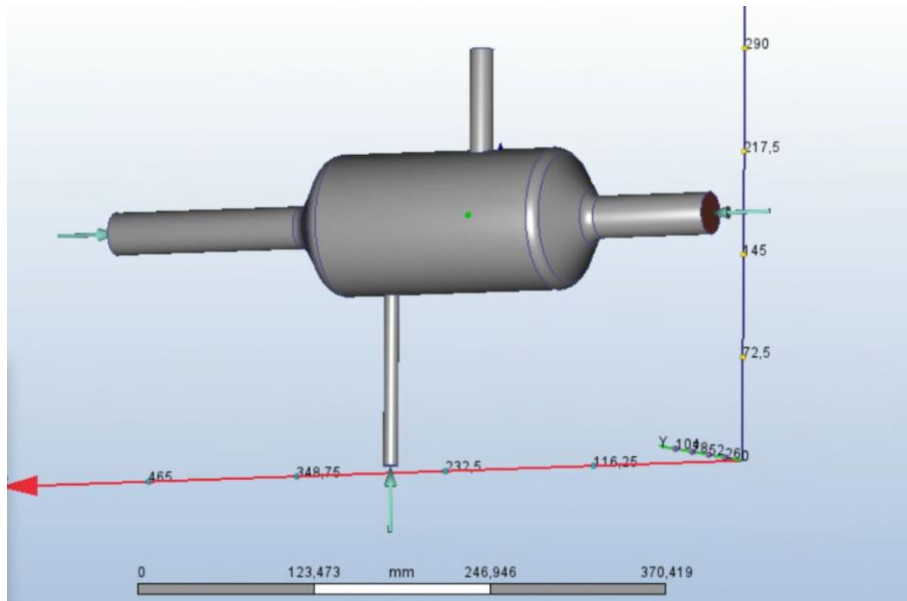


Натисніть «Застосувати».

Крок 4. Призначте тиск = 0 Па для виходів

Виберіть три виходи. Вам, ймовірно, доведеться повернути модель, щоб отримати доступ до всіх них:





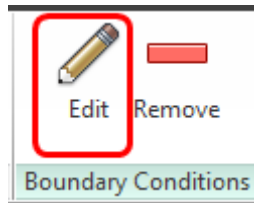
Відкрийте діалогове вікно швидкого редагування граничних умов одним із наведених нижче способів:

- Натисніть «Редагувати» на контекстній панелі інструментів:



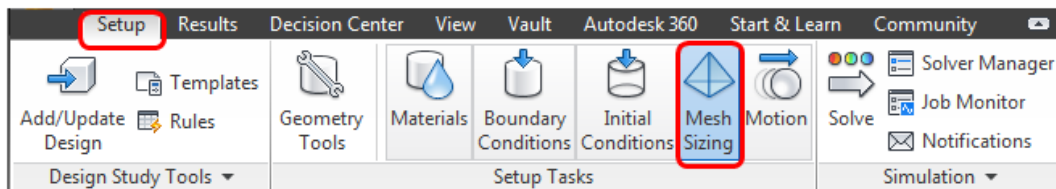
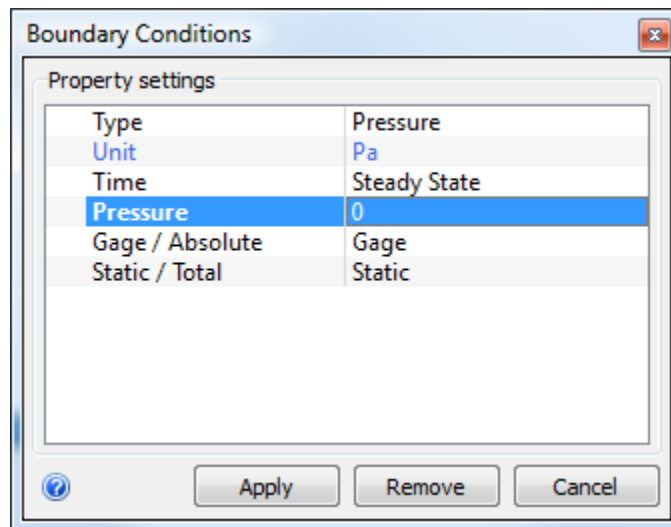
- Натисніть «Редагувати» на контекстній панелі «Граничні умови»:
Тип = Тиск
Одиниця вимірювання = Па; Тиск = 0

Натисніть «Застосувати» Apply



Крок 5. Автоматичне призначення розмірів сітки

На вкладці «Налаштування» натисніть «Розмір сітки»:



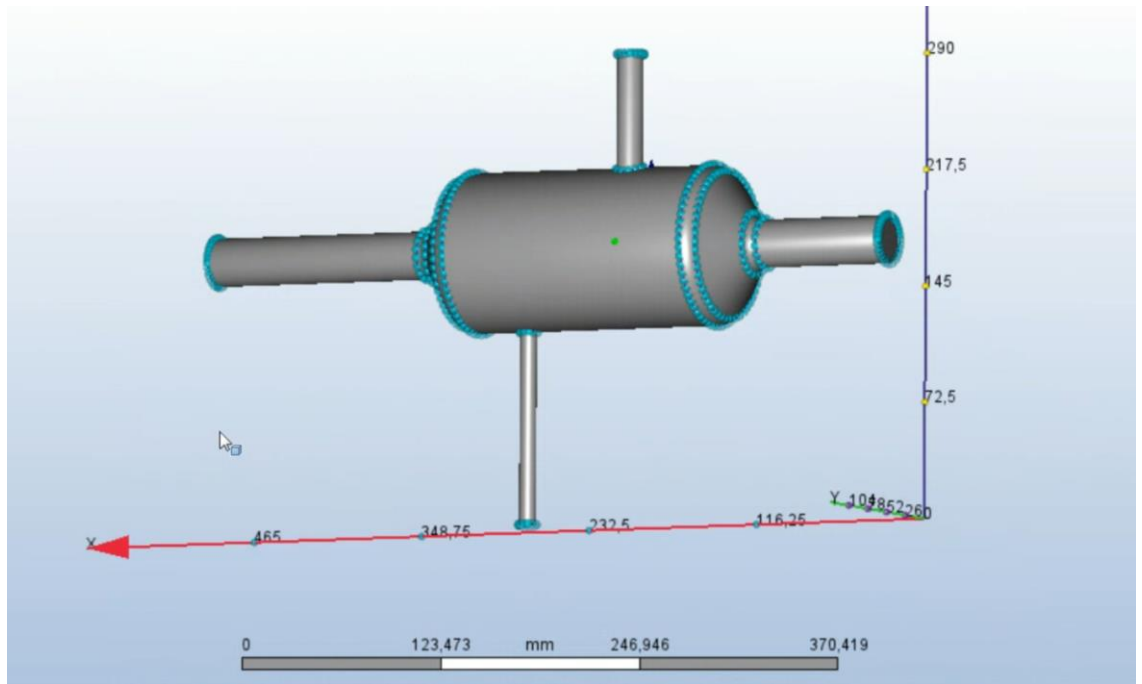
Застосуйте автоматичне визначення розміру сітки ОДИМ із наступних способів:

- Клацніть лівою кнопкою миші та виберіть «Автоматично змінити розмір» на контекстній панелі інструментів:



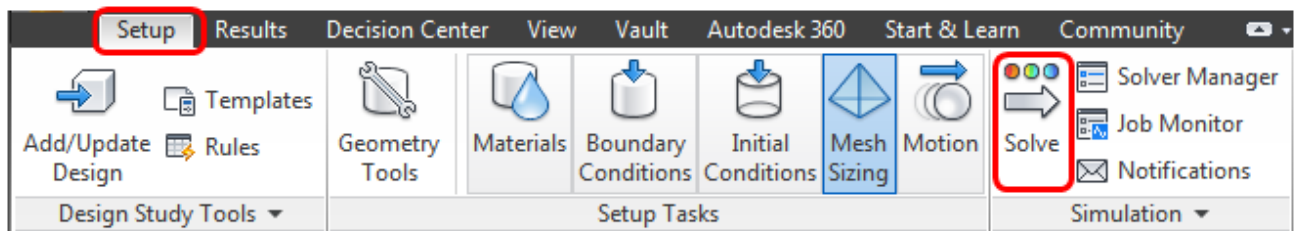
- Натисніть «Автоматичний розмір» на контекстній панелі «Автоматичне змінення розміру»:

Результат має виглядати так:



Крок 6 . Розв'язання

На вкладці «Налаштування» натисніть «Розв'язати»:



Перейдіть на вкладку «Фізика».

Потік = Увімкнено (Flow = On)

Перейдіть на вкладку «Керування» (Control tab).

Ітерації для виконання = 100

Натисніть «Розв'язати», щоб розпочати аналіз.

Ми встановили кількість ітерацій на 100, щоб скоротити загальний час виконання вправи. Щоб аналіз автоматично запускався до збіжності, збільште кількість ітерацій до 300.

Під час створення сітки на панелі виводу відображаються інформаційні повідомлення.

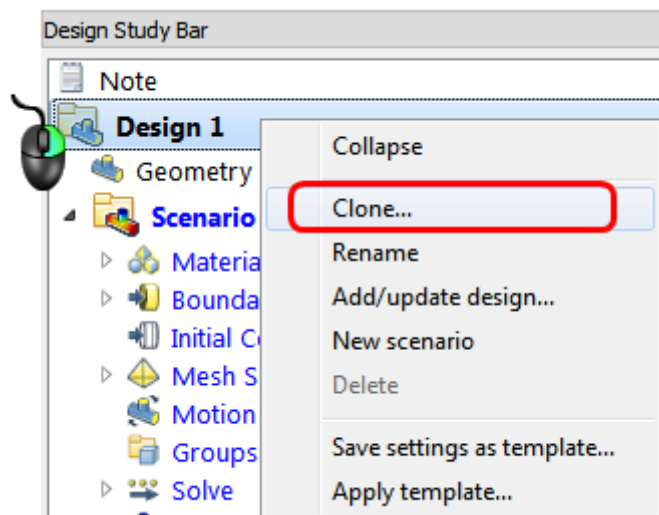
Після завершення побудови сітки виконується аналіз.

Крок 7 . Клонування проекту 1

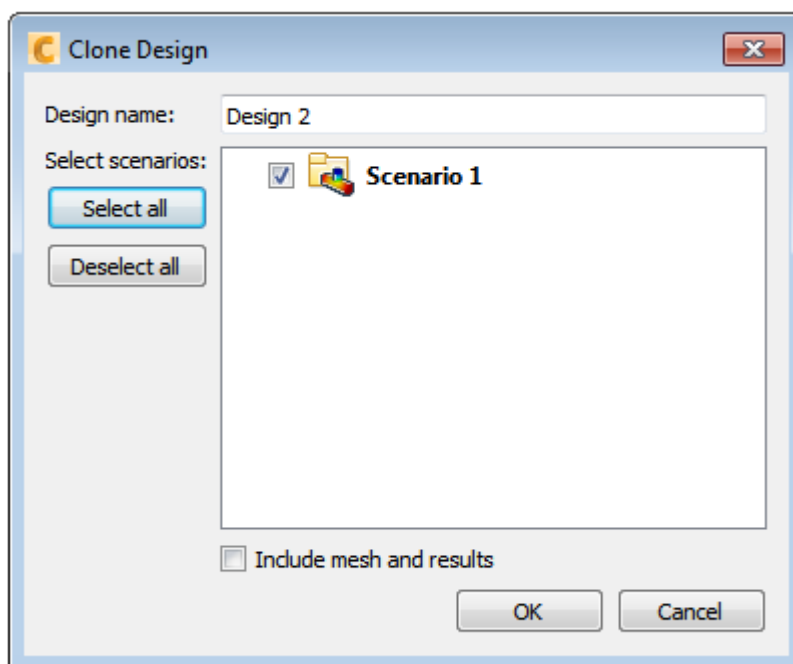
На цьому кроці ми скопіюємо всі налаштування та геометрію до другого проекту. Ми робимо це тому, що на наступному кроці ми змінимо

геометрію САПР у другому проекті та використаємо налаштування з першого проекту.

Щоб клонувати проект, клацніть на ньому правою кнопкою миші та виберіть «Клонувати...»



Коли з'явиться запит, призначте сценарію унікальну назву. Переконайтеся, що сценарій вибрано. Зніміть позначку з опції «Включити сітку та результати» (**Include mesh and results**), щоб клонувати лише налаштування моделі.



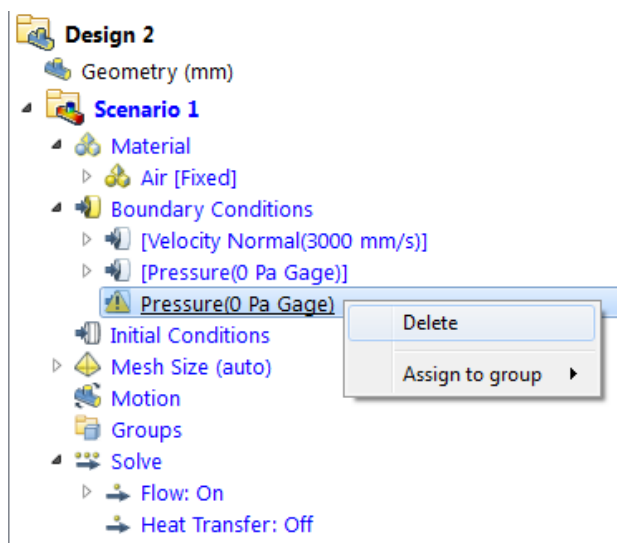
Крок 8. Видалення втрачених налаштувань

Після видалення частини середнього випускного отвору та оновлення проекту матеріал і гранична умова, призначені цій частині, не можуть бути пов'язані з моделлю. Ці налаштування відобразатимуться зі значком попередження на панелі проектного дослідження, що вказує на їх втрату. Сценарій не можна запустити, доки всі втрачені налаштування не будуть призначені або видалені.

Примітка: Мета цього кроку – видалити втрачені налаштування зі сценарію.

Розгорніть гілку «Граничні умови» для нового проекту.

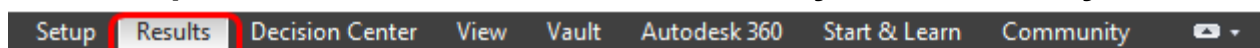
Клацніть правою кнопкою миші на втраченому налаштуванні граничної умови та виберіть «Видалити».



Розгорніть гілку «Матеріал» для нового дизайну. Клацніть правою кнопкою миші на втрачених налаштуваннях матеріалу та виберіть «Видалити».

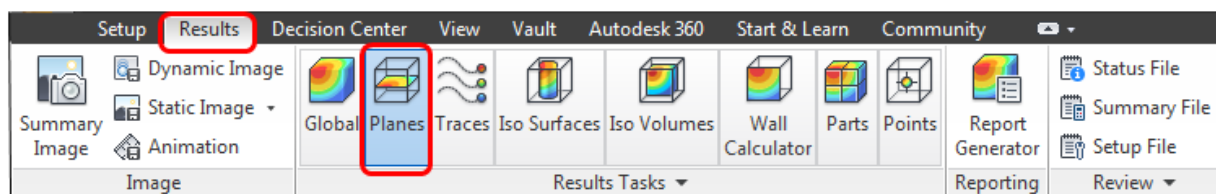
Крок 9. Зробіть зведене зображення

Перейдіть на вкладку «Результати».

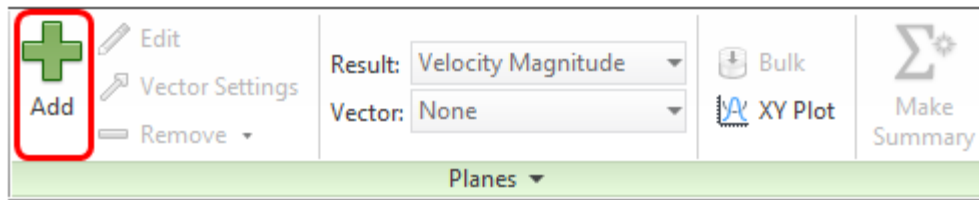


У цьому завданні ми створюємо площину результатів, яка показує швидкість, та знімаємо зведене зображення. На наступному кроці ми використовуємо це зображення та Центр перегляду проектів для порівняння результатів двох проектів.

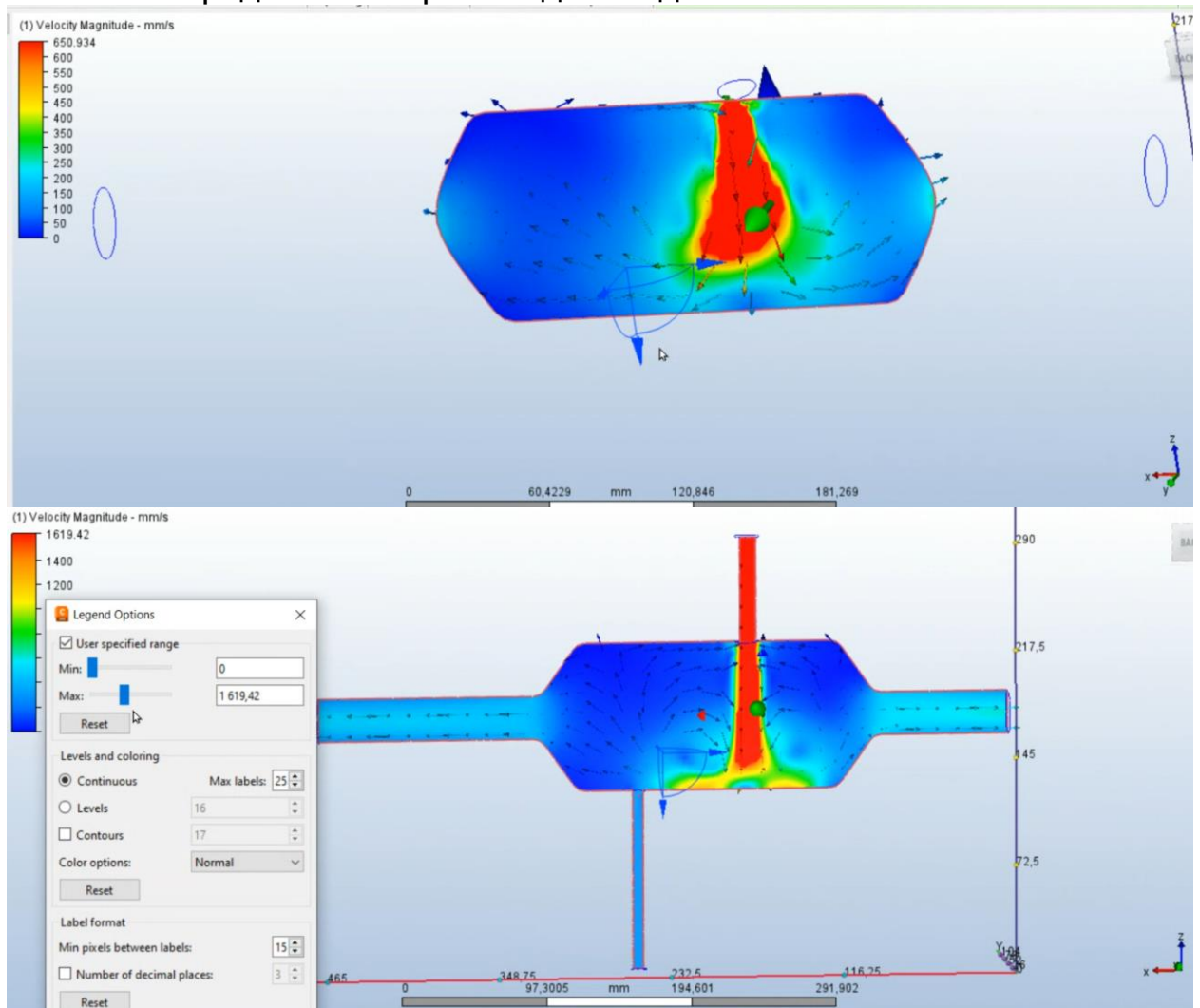
Натисніть «Площини» **Planes** на вкладці «Результати» **Results**:

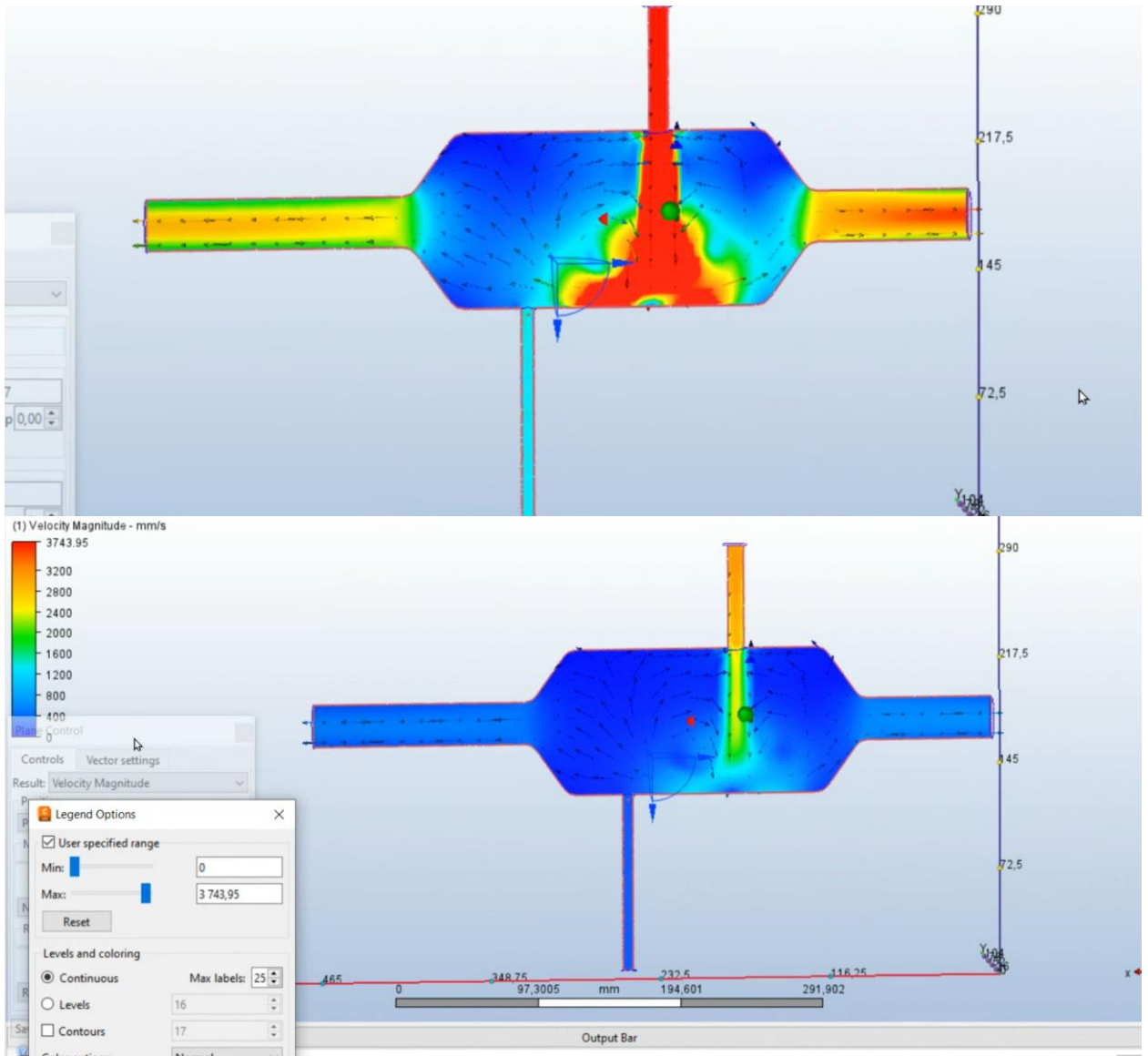


Щоб створити площину, натисніть кнопку «Додати» **Add** на контекстній панелі «Площини» **Planes**:



Щоб зорієнтувати площину, клацніть на ній лівою кнопкою миші та виберіть цей значок на контекстній панелі інструментів: **X**. На малюнках представлено різні види швидкості



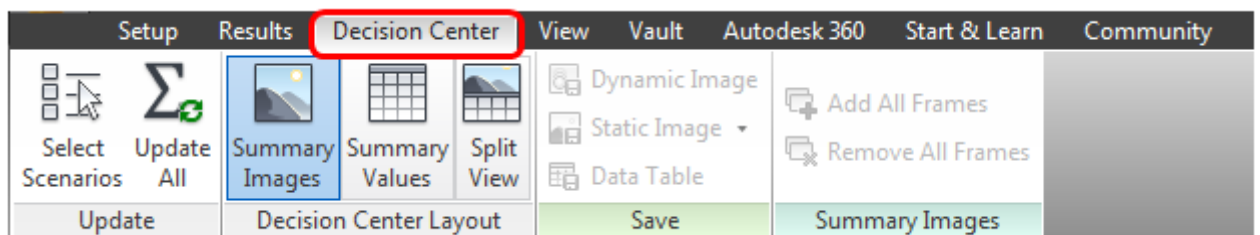


Щоб зберегти поточний вигляд у вигляді зведеного зображення, натисніть «Зведене зображення» **Summary Image** на вкладці «Результати» **Results**:

Крок 10. Порівняння результатів у Центрі перевірки дизайну

На цьому кроці ми порівнюємо графічні результати з двох дизайнів за допомогою Центру перевірки дизайну.

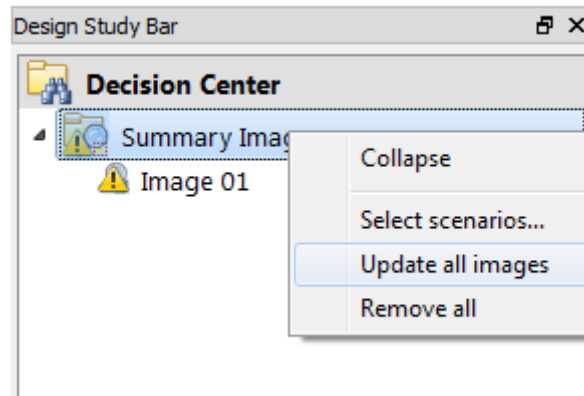
Щоб розпочати порівняння результатів, перейдіть на вкладку Центр прийняття рішень:





У Центрі прийняття рішень клацніть правою кнопкою миші на гілці «Зведені зображення» **Summary Images** та виберіть «Оновити всі зображення» **Update all images**.

У Центрі рішень **Decision Center** клацніть правою кнопкою миші на гілці та виберіть:



The tab of the bar should now be showing:

На вкладці «Центр перевірки дизайну» **Design Review Center** панелі «Вивід» **Output** тепер має відобразитися:

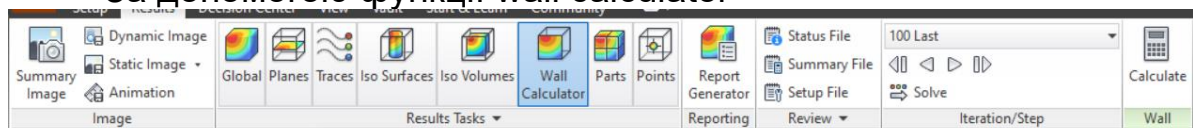
Примітка: На панелі «Вихід» **Output** відображається мініатюра кожного проекту. За замовчуванням перший відображається у вікні «Графіка» **Graphics**.

Використовуйте повзунок та елементи керування «Відеомагнітофон» в області «Центр перегляду проекту», щоб порівняти два проекти.

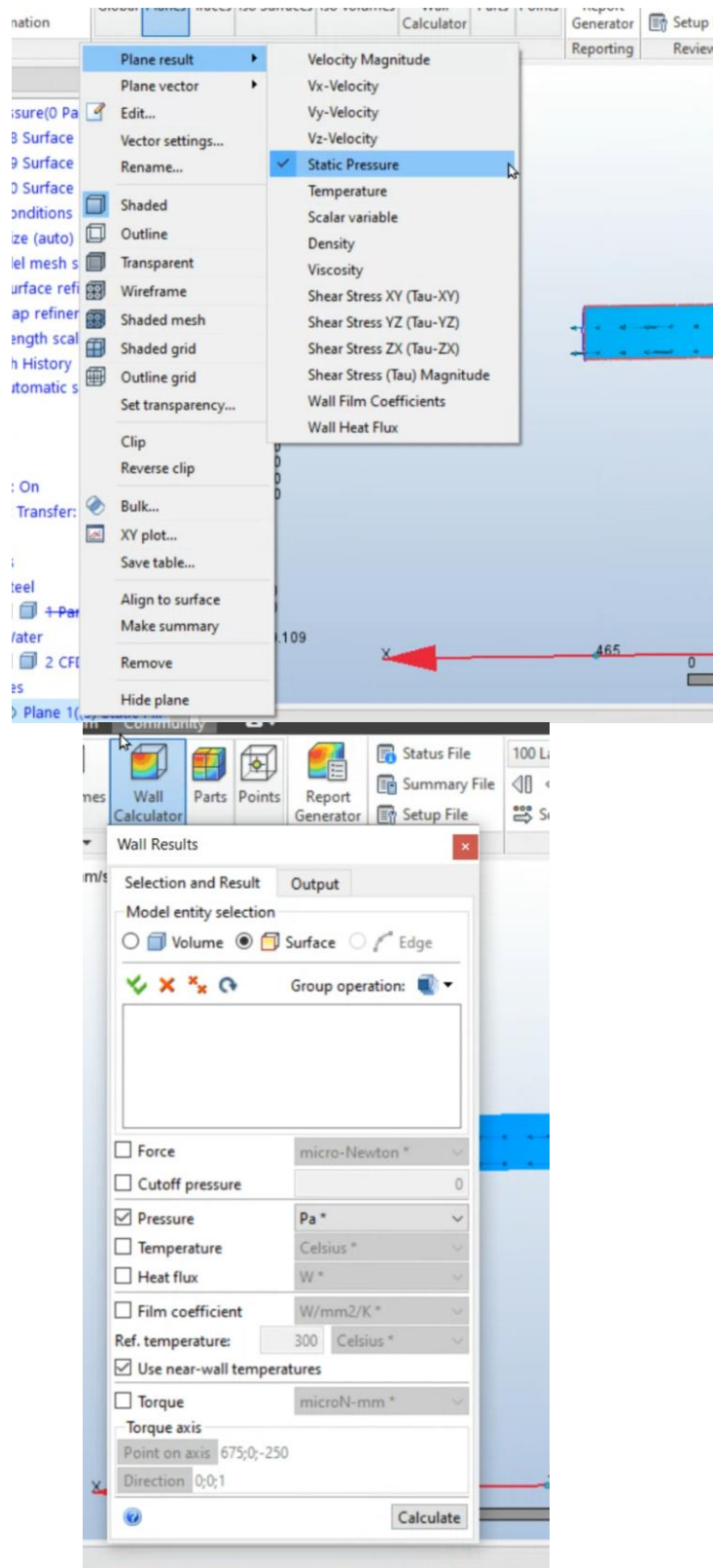
Ніжки колектора повинні виглядати контурно, а не затінено. Якщо вони затінені, змініть їхній вигляд, клацнувши правою кнопкою миші на кожній нозі та вибравши «Контур» **Outline**.

Крок 10. Тиск

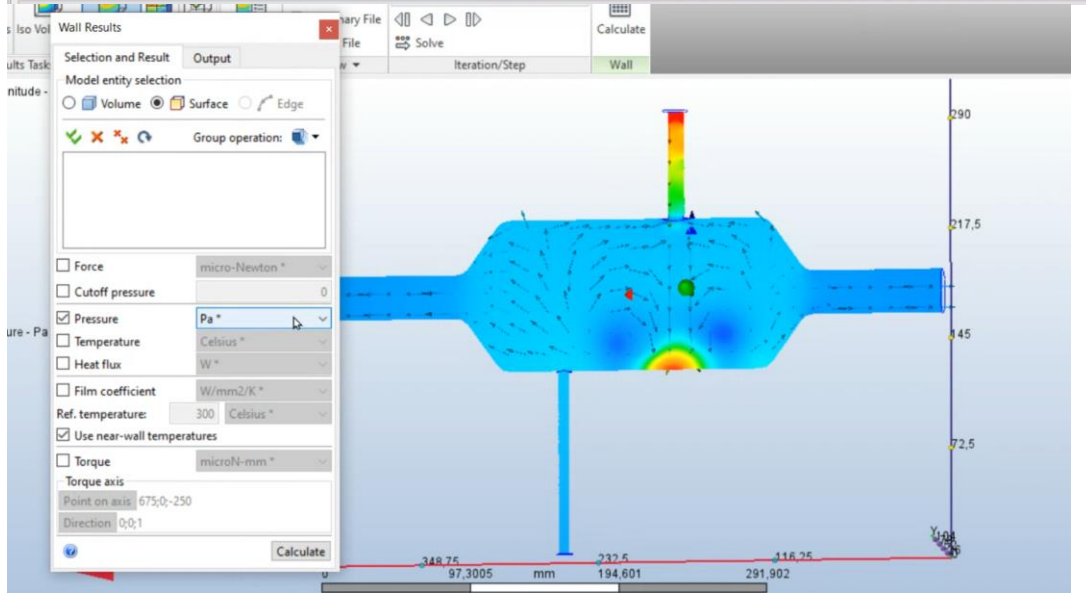
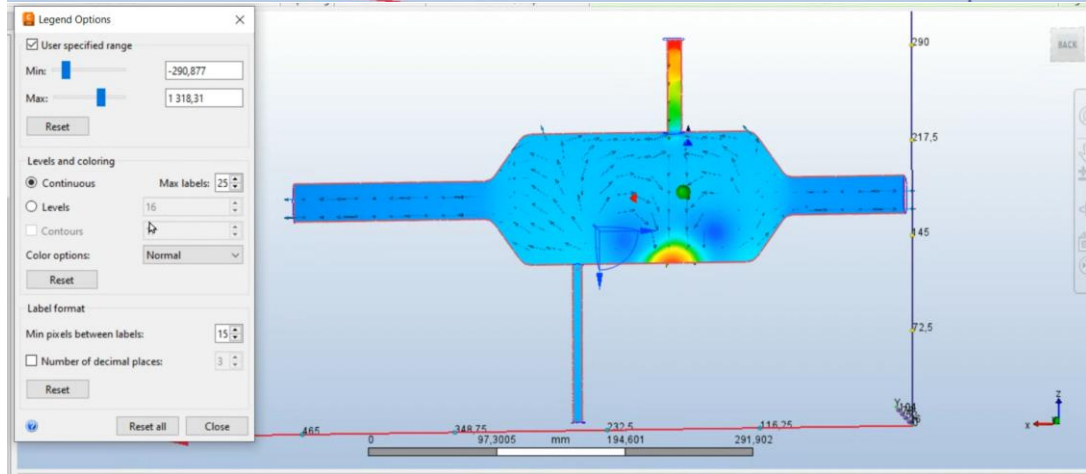
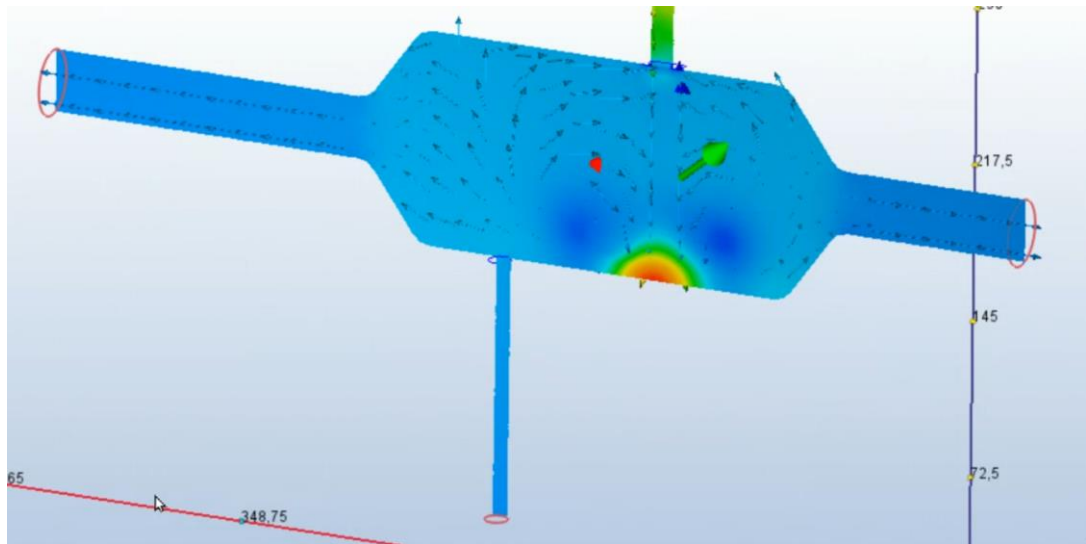
За допомогою функції wall calculator



Отримаємо результати тиску на всіх трьох отворах



Потрібно вибрати всі три отвори



ЗАВДАННЯ:

1. Виконати імпорт 3D-моделі колектора.
 2. Створити розрахунковий об'єм рідини (Water).
 3. Налаштувати граничні умови для входу та трьох виходів згідно з варіантом.
 4. Провести ітераційний розрахунок до стабілізації показників витрати на виходах.
 5. Розрахувати відсотковий розподіл рідини між трьома вихідними патрубками.
 6. Визначити падіння тиску в системі.
- Оскільки геометрія незмінна, ми варіюємо вхідну швидкість та температуру води (що змінює в'язкість і впливає на турбулентність).

№ вар.	Швидкість на вході (m/s)	Температура води (°C)	Тип режиму (орієнтовно)
1	0.5	15	Ламінарний/Перехідний
2	0.8	15	Перехідний
3	1.2	20	Турбулентний
4	1.5	20	Турбулентний
5	2.0	25	Висока турбулентність
6	2.5	30	Висока турбулентність
7	3.0	40	Інтенсивний потік
8	0.6	50	Гаряча вода (нижча в'язкість)
9	1.0	60	Гаряча вода
10	1.8	70	Промисловий режим
11	2.2	80	Високотемпературний потік
12	0.4	10	Холодна вода
13	1.4	20	Стандартний режим
14	2.8	25	Швидкісний потік
15	4.0	15	Критична швидкість

Додаткові пропозиції:

1. Аналіз кавітації (опціонально): Для варіантів з високою швидкістю (№14, №15) можна перевірити, чи не падає тиск у зонах повороту потоку нижче тиску насиченої пари (що призвело б до руйнування колектора).



2. Використання "Summary Entities": Створюйте площини (Planes) на кожному виході та позначати їх як "Summary". Це дозволить програмі автоматично згенерувати порівняльну таблицю в один клік.

3. Порівняння: Зробіть один "контрольний" розрахунок при $T=20^{\circ}\text{C}$, а потім змінити тільки температуру на 80°C (з того ж варіанта). Це наочно покаже, як зміна в'язкості рідини впливає на гідравлічний опір без зміни заліза.

4. Візуалізація "Dead Zones": Знайдіть зони застою (де швидкість близька до нуля). У природоохоронних системах це важливо, бо там може накопичуватися осад.

2. ВИМОГИ ОФОРМЛЕННЯ ІНДИВІДУАЛЬНИХ ЗАВДАНЬ

Виконання індивідуального завдання є обов'язковою частиною вивчення дисципліни. Робота складається з двох індивідуальних завдань (Циклон та Колектор), Котрі оформлюються окремо, згідно графіку. Кожне завдання оцінюється у 10 балів.

2.1. Загальні технічні параметри

Звіт оформлюється державною мовою на сторінках формату А4 з дотриманням таких вимог:

Параметр	Значення
Поля (всі)	20 мм (ліве, праве, верхнє, нижнє)
Шрифт основного тексту	Arial, кегель 14
Міжрядковий інтервал	1,0 (півтора)
Абзацний відступ	1,25 мм (однаковий по всьому тексту)
Шрифт у таблицях	Кегель 14, інтервал 1,0
Нумерація сторінок	Нижній правий кут, арабські цифри (на тит. аркуші не ставиться)

Структура індивідуальної роботи

Звіт повинен містити елементи у такій послідовності:

1. Титульний аркуш (згідно з додатком А).
2. Зміст (із зазначенням номерів сторінок).
3. Вступ (короткий опис об'єкта дослідження).
4. Розділ 1 чи Розділ 2.
5. Висновки (загальний аналіз результатів та можна додати діагностику несправностей).
6. Список використаних джерел.
7. Додатки (за потреби).

Важливо. Кожна структурна частина (ВСТУП, РОЗДІЛ, ВИСНОВКИ тощо) починається з нової сторінки. Заголовки розділів пишуться **ВЕЛИКИМИ ЛІТЕРАМИ** по центру.

Правила оформлення таблиць, рисунків та формул

Таблиці та Рисунки

Посилання. У тексті обов'язково має бути посилання на кожен таблицю чи рисунок (наприклад: *див. табл. 1.1* або *рис. 2.1*).

Розміщення. Безпосередньо після першої згадки в тексті. Розділ не може закінчуватися рисунком або таблицею — після них має бути текст.



Оформлення таблиць:

- 1) Слово «Таблиця [номер] — [Назва]» пишеться ліворуч з абзацу над таблицею.
- 2) Нумерація подвійна: [Номер розділу].[Порядковий номер].

Оформлення рисунків:

- 1) Підпис ставиться під рисунком по центру: «Рисунок [номер] — [Назва]».
- 2) До рисунків відносяться скріншоти з Autodesk CFD, графіки та схеми.

Формули

Формули вирівнюються по центру, а їх номер вказується у правих крайніх дужках:

$$Re = \frac{v \cdot D}{\nu} \quad (2.1)$$

Після кожної формули наводиться слово «де» та розшифровка всіх символів з нового рядка з вказанням одиниць вимірювання.

Структура звіту індивідуального завдання 1

Звіт оформлюється у форматі PDF і має містити:

1. Титульний аркуш із зазначенням варіанта.
2. Опис граничних умов: скріншот панелі налаштувань (Material, BC).
3. Параметри сітки: кількість вузлів та елементів, обґрунтування щільності сітки.
4. Результати візуалізації (Обов'язково):
 - 1) Скріншот розподілу тиску на стінках циклона.
 - 2) Скріншот векторів швидкості в центральному перерізі.
 - 3) Скріншот траєкторій частинок (Particle Traces), зафарбованих за часом перебування або швидкістю.
5. Розрахункова частина:
 - 1) Визначити різницю тисків $\Delta P = P_{\text{вихід}} - P_{\text{вхід}}$ (Па).
 - 2) Обчислити коефіцієнт гідравлічного опору ξ за формулою (якщо передбачено курсом).
6. Висновки: Оцінка ефективності очищення (чи всі частинки заданого розміру потрапляють у бункер) та аналіз зон найбільшого зносу (де швидкість біля стінок найвища).



Структура звіту індивідуального завдання 2

1. Опис граничних умов: Скріншоти призначених ВС.
2. Візуалізація ліній току (Traces): Показати, як потоки розділяються всередині колектора.
3. Розподіл тиску: Скріншот контурів тиску (допоможе побачити зони найбільшого опору).
4. Таблиця результатів:
 - 1) Витрата на вході ($Q_{\text{вхід}}$, кг/с).
 - 2) Витрата на Виході 1 ($Q_{\text{вихід1}}$, кг/с).
 - 3) Витрата на Виході 2 ($Q_{\text{вихід2}}$, кг/с).
 - 4) Витрата на Виході 3 ($Q_{\text{вихід3}}$, кг/с).
5. Розрахункова перевірка: Перевірити баланс мас $Q_{\text{вхід}} \approx Q_{\text{вихід1}} + Q_{\text{вихід2}} + Q_{\text{вихід3}}$.
6. Висновки: Визначити, який з патрубків є "найбільш завантаженим" і як зміна швидкості впливає на рівномірність розподілу (наприклад, чи стає розподіл більш рівномірним при збільшенні швидкості).

Оформлення даних у звіті -рекомендація.

Для звіту студент повинен скласти Зведену таблицю балансу мас. Це покаже викладачеві, що розрахунок зійшовся і виконаний вірно.

Таблиця: Гідравлічний баланс колектора

Назва патрубка	Тиск (Па)	Масова витрата (кг/с)	Відсоток від входу (%)
Вхід	$P_{\text{вхід}}$	$M_{\text{вхід}}$	100%
Вихід 1	0	$M_{\text{вихід1}}$	$(M_{\text{вихід1}}/M_{\text{вхід}}) \cdot 100$
Вихід 2	0	$M_{\text{вихід2}}$	$(M_{\text{вихід2}}/M_{\text{вхід}}) \cdot 100$
Вихід 3	0	$M_{\text{вихід3}}$	$(M_{\text{вихід3}}/M_{\text{вхід}}) \cdot 100$
Сума виходів	—	$\sum M_{\text{вихід}}$	$\approx 100\%$

Важливе зауваження щодо точності

Дуже часто сума на виходах не ідеально дорівнює входу (наприклад, різниця у 0.5-1%).

Різниця між вхідною та вихідною масою називається похибкою збіжності. Якщо вона менше 1-2%, розрахунок вважається успішним. Якщо більше — необхідно збільшити кількість ітерацій або ущільнити сітку (Mesh Refinement) в місцях розгалуження.

3. ПОДАННЯ НА ПЕРЕВІРКУ ТА КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ ІНДИВІДУАЛЬНИХ ЗАВДАНЬ

3.1. Порядок подання

Моніторинг виконання та дистанційне подання результатів індивідуальних завдань реалізується через систему управління навчанням Moodle.

Кожна частина індивідуального завдання (Частина 1 «Циклон» та Частина 2 «Колектор») є автономною, виконується та здається окремо згідно з графіком у системі Moodle.

- Склад подання: Звіт у форматі .pdf + файл розрахункового проекту .cfz (Autodesk CFD).
- Термін перевірки: 7 календарних днів.

3.2. Критерії оцінювання (10-бальна шкала)

Невчасно складене max 5 балів. Максимальна оцінка (10 балів)

Оцінка за кожен індивідуальну роботу виставляється як сума балів за чотирма напрямками:

Критерій	Що оцінюється	Макс. бал
Технологічна точність	Правильність ручних розрахунків, вибір моделі турбулентності, якість сітки та збіжність симуляції.	4
Аналітична якість	Аналіз результатів, пропозиції та оптимізація	3
Академічна відповідність	Дотримання вимог до оформлення тексту, таблиць, рисунків та формул згідно з розділом 2.	2
Виконавча дисципліна	Вчасне завантаження роботи в Moodle без порушення дедлайнів.	1
ЗАГАЛОМ		10

3.3. Характеристика оцінок

- 9–10 балів («Відмінно»):
 - Розрахунки виконані без помилок.
 - Моделювання в Autodesk CFD повністю відображає фізику процесу, отримано стабільну збіжність.




- Представлено глибокий аналіз «вузьких місць» конструкції (діагностика несправностей).
- Оформлення повністю відповідає вимогам.
- 7–8 балів («Добре»):
 - Робота виконана в повному обсязі, але є незначні погрішності в оформленні або дрібні помилки в інженерних розрахунках.
 - Аналітичний висновок присутній, але блок Troubleshooting описаний поверхнево.
- 5–6 балів («Задовільно»):
 - Студент припустився суттєвих помилок у налаштуванні CFD-моделі (наприклад, невірно обрана модель турбулентності).
 - Текст звіту містить порушення структури або вимог до оформлення.
 - Відсутній аналіз потенційних несправностей обладнання.
- 0–4 бали («Незадовільно»):
 - Робота не відповідає алгоритму, розрахунки хибні, або результати симуляції не мають фізичного змісту.
 - Виявлено ознаки плагіату. Робота потребує повного перероблення.

3.4. Вплив на підсумкову оцінку

Кожна з двох індивідуальних робіт є обов'язковою. Невиконання хоча б однієї з них унеможливорює отримання позитивної підсумкової оцінки з дисципліни. Сумарний бал за дві роботи (макс. 20 балів) інтегрується в загальну рейтингову систему курсу.

4 СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Левандовський Л. В., Бублієнко Н. О., Семенова О. І. Природоохоронні технології та обладнання : підруч. Київ : НУХТ, 2013. 243 с. URL: <https://dspace.nuft.edu.ua/items/f56ff878-efc9-41ec-bb4e-3c354bb664df>
2. Процеси та апарати природоохоронних технологій : підручник : у 2 т. / Л. Д. Пляцук та ін. Суми : Сумський державний університет, 2017. Т. 1. 435 с. URL: https://moodle.znu.edu.ua/pluginfile.php/1141977/mod_resource/content/1/Нав.%20посіб%20природоохорон%20споруди.pdf
3. Технології захисту навколишнього середовища. Ч. 2. Методи очищення стічних вод : підручник / В. Г. Петрук та ін. Херсон : Олді-плюс, 2019. 298 с. URL: https://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/2025/Petruk_P2_2014_258.pdf
4. Цейтлін М. А. Проектування природоохоронних комплексів з використанням САПР : навч. посіб. / М. А. Цейтлін, В. Ф. Райко, М. В. Бойко, О. В. Шестопалов. Х. : НТУ «ХПІ». 2013. 224 с. URL: <https://files.znu.edu.ua/files/Bibliobooks/Inshi80/0060196.pdf>
5. ДБН А.2.2-3:2014 Склад та зміст проектної документації на будівництво. Зі Змінами № 1, № 2 та Поправкою до Зміни № 2. [На заміну ДБН А.2.2-3-2004 ; чинні від 2022-07-01]. Вид. офіц. Київ : Держбуд України. 2022. 35 с. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/document.html?id_doc=58105 (дата звернення: 07.01.2026).
6. Про охорону навколишнього природного середовища : Закон України від 25 червня 1991 р. №1264-XII. Дата оновлення: 08.08.2025. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1264-12#Text> (дата звернення: 07.01.2026).
7. Про водовідведення та очищення стічних вод : Закон України від 12 січня 2023 р. № 2887-IX. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2887-20#Text> (дата звернення: 07.01.2026).
8. Водний кодекс України від 6 червня 1995 р. № 213/95-ВР. Дата оновлення: 08.08.2025. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/213/95-%D0%B2%D1%80#Text> (дата звернення: 07.01.2026).
9. Державні медико-санітарні нормативи. Гранично допустимі концентрації хімічних і біологічних речовин в атмосферному повітрі населених місць : затв. наказом Міністерства охорони здоров'я України



від 10 травня 2024 р. N 813 (з останніми змінами, внесеними Наказом від 03.06.2024 № 953). URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/document.html?id_doc=110341 (дата звернення: 07.01.2026).

10. Research4life : веб-сайт. URL: <https://portal.research4life.org/> (дата звернення: 01.09.2025).

11. Глобальна енергетична та кліматична політика : Coursera_ : веб-сайт. URL: <https://www.coursera.org/learn/globalenergyandclimatepolicy> (дата звернення: 01.09.2025).

12. Інституційний репозитарій ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА» : веб-сайт. URL: <https://dspace.mipolytech.education/home> (дата звернення: 01.09.2025).

13. Міністерство освіти і науки України : веб-сайт. URL: <https://mon.gov.ua/> (дата звернення: 01.09.2025).

14. Національна бібліотека України ім. Вернадського. : веб-сайт. URL: www.nbuv.gov.ua (дата звернення: 01.09.2025).

15. Національна бібліотека України імені Ярослава Мудрого. : веб-сайт. URL: <https://nlu.org.ua/> (дата звернення: 01.09.2025).

16. Центральна державна науково-технічна бібліотека гірничометалургійного комплексу України : веб-сайт. URL: <http://cgntb.dp.ua/> (дата звернення: 01.09.2025).



Додаток А

ПРИКЛАД ОФОРМЛЕННЯ ТИТУЛЬНОГО ЛИСТА

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

КАФЕДРА БЕЗПЕКИ ПРАЦІ ТА ОХОРОНИ ДОВКІЛЛЯ

«ОСНОВИ ПРОЄКТУВАННЯ ПРИРОДООХОРОННОГО ОБЛАДНАННЯ ТА СИСТЕМ »

Індивідуальна робота 1 (або 2)

Тема: «.....»

Група _____

ПІБ _____

Перевірів(ла): _____

(ПІБ викладача)

Запоріжжя, 20__

mip metinvest
polytechnic



Навчально-методичне видання

Світлана Олександрівна Вірич

**ОСНОВИ ПРОЄКТУВАННЯ ПРИРОДООХОРОННОГО
ОБЛАДНАННЯ ТА СИСТЕМ**

методичні рекомендації
до виконання індивідуальних завдань

Самостійне електронне мережеве видання

Публікується в авторській редакції