МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
"КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО"

Б.С. Воронцов, Ю.М. Бецко, О.О. Мельник

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського як навчальний посібник для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка»

Київ
КПІ ім. Ігоря Сікорського
2023

Рецензенти: *Ступницький В.В.*, д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри робототехніки та інтегрованих технологій машинобудування Національного університету «Львівська політехніка»

Васильченко Я.В., д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри комп'ютеризованих мехатронних систем, інструментів та технологій Донбаської державної машинобудівної академії

Відповідальний редактор *Охріменко О.А.*, д-р техн. наук, проф.

Гриф надано Вченою радою КПІ ім. Ігоря Сікорського (протокол №22/23-364 від 09.03.2023 р.)

Електронне мережне навчальне видання

Воронцов Борис Сергійович, д-р техн. наук, проф.
Бецко Юрій Михайлович, ст. викладач
Мельник Олена Олексіївна, канд. техн. наук, доц.

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

Комп'ютерне моделювання технологічних процесів [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. за спеціальністю 131 «Прикладна механіка» за освітньо-науковою програмою магістерської підготовки - Технологія машинобудування/ Б.С. Воронцов, Ю.М. Бецко, О.О. Мельник; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 6,5 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 186 с.

Навчальний посібник написано за програмою курсу «Комп'ютерне моделювання технологічних процесів», затвердженої методичною комісією навчально-наукового механіко-машинобудівного інституту Національного технічного університету “Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”

В посібнику докладно викладено теоретичні положення курсу, дається методика вирішення задач із застосуванням сучасних комп’ютерних технологій. Обсяг та послідовність викладення матеріалу підібрано з урахуванням забезпечення самостійної роботи студентів. Навчальний посібник призначений для студентів всіх форм навчання.

© Б.С. Воронцов, Ю.М. Бецко, О.О. Мельник
© КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023

ЗМІСТ

Вступ……5
1. Імітаційне моделювання……..……6
1.1 Основні стадії проектування виробничих систем моделювання...6
1.3 Основні цілі і завдання імітаційного моделювання.…….…….……6
1.3.1. Проектування виробничого підрозділу з нуля….……..……7
1.3.2 Рішення оптимізаційних завдань на існуючому виробництві ……...7
1.4 Постановка експериментів. Моделювання сценарію «що, якщо?» ……12
1.5 Алгоритм оптимізації моделі……. 13
1.5.1 Постановка оптимізаційної задачі……..…13
1.5.2.Етапи оптимизації……16
2. Поняття теоретичної логістики……...……..22
2.1.Покоління програмних засобів імітаційного моделювання……..22
2.2.Загальна оцінка пакетів для імітаційного моделювання……..22
2.4.Вимоги, що пред'являються до симуляторів в плані застосування статистичних методів…….23
2.5.Вимоги, що пред'являються до симуляторів в плані виведення результатів і візуалізації……23
3. Огляд сучасних симуляторів……...……...……...26
3.1. Arena……...…….……26
3.2.Extend……...……...…….27
3.3.AutoMod……...……...…….27
3.4.Quest……...……...……...27
3.5. Tecnomatix Plant Simulation (eM-Plant) ……...…….28
3.6.ProModel……...……...……29
3.7.Enterprise Dynamics (Taylor ED) ……...……29
3.8.WITNESS……...……...……...30
3.9.AnyLogic……...……...……30
3.10. Plant Simulation……...……32
3.10.1. Історія продукту……...……32
3.10.2.Короткий опис……...……....32
3.10.3.Особливості продукту……...……...…33
3.10.4.Використання……...……34
4. Порядок роботи в системі Tecnomatix Plant Simulation…….……..35
4.1. Моделювання виробничої лінії……35
4.1.1.Підготовка імітаційної моделі……...……...35
4.1.2.Імітація виробничого процесу……...……..37
4.1.3.Аналіз результатів імітації і корекція моделі……...38

4.2 Створення власного класу об'єктів……..43
4.3 Методи розподілу завантаження між верстатами…….52
4.4 Створення власної стратегії розподілення деталей…….59
4.4.1. Підготовка імітаційної моделі……..……..…59
4.4.2 Імітація виробничого процесу……...……..64
4.4.3 Аналіз результатів імітації та корекція моделі……..…….64
4.5 Моделювання виробничої лінії з робітниками……..……70
4.5.1. Підготовка імітаційної моделі……...……..70
4.5.2. Імітація виробничого процесу……...……..73
4.5.3 Аналіз результатів імітації та корекція моделі……....73
4.6 Моделювання роботи робітників цеху……..78
4.7 Моделювання в режимі 3D…….....83
4.8 Орієнтування заготовок та об'єктів цеху…….91
4.8.1. Підготовка імітаційної моделі…….91
4.9 Знайомство з анімацією та 3D моделюванням виробничих процесів в програмі Tecnomatix Plant Simulatio..……..98
4.10 Створення моделі в ієрархічному порядку……..110
4.11. 3D: анімовані об'єкти……..118
4.12 Метод організації руху працівників в цеху…….….126
4.13 Методи створення візуально привабливої 3D моделі…….…131
4.14 Професійна анімація об'єктів…….….144
4.15 Екпериментальні дослідження у менеджера по експериментах у середовищі Siemens Tecnomatix Plant Simulation…….…153
4.16 Використання бібліотеки «Cranes and More» у імітаційній моделі……...……....162
4.17 Робота та використання портального крану……168
4.18 Методи вивчення витрат робочого часу спостереженням……178
Посилання……..…….185

ВСТУП

У навчальному посібнику описані засоби інструментального середовища Siemens Tecnomatix Plant Simulation для розробки віртуального цифрового процесу організації руху деталей у часі та у просторі на дільницях машинобудівних підприємств. Розкрито процес формування потоків деталей по робочих місцях з метою створення імітаційної моделі роботи дільниці, подальшого аналізу та прийняття рішення щодо поліпшення організації та управління процесами виробництва, наведено ілюстрації. Результатом роботи служать розроблені 2D та/або 3D моделі віртуальної дільниці з візуалізацією потоків деталей по робочих місцях і розрахованими характеристиками організації виробничого процесу на дільниці з механообробним обладнанням.

Цей навчальний посібник створений не лише для вивчання та засвоєння матеріалу по дисципліні «Комп'ютерне моделювання технологічних процесів», передбаченого програмою підготовки магістрів за спеціальністю 131 «Прикладна механіка», а й для формування компетенцій майбутнього фахівця при виконанні реальних проектів на виробництві та у наукових дослідженнях.

Дана дисципліна складається з одного кредитного модуля, який є основою для підготовки висококваліфікованих фахівців, здатних вирішувати базові науково-технічні задачі в області моделювання параметрів технологічних процесів виготовлення різних деталей та машин в машинобудівному виробництві, створення математичних та імітаційних моделей процесів і обладнання, планування експериментальних досліджень та використання методик їх математичної обробки, моделювання роботи технологічних виробничих систем, використання інформаційних технологій при розробці нових технологій та виробів машинобудування.

Для вивчення даної дисципліни необхідно вивчити наступні дисципліни: вища математика, інженерна та комп’ютерна графіка, обладнання механообробних цехів, технологія машинобудування, складальні процеси в машинобудуванні, автоматизоване проектування, основи тривимірного моделювання, теорія автоматичного управління технологічними системами, основи наукових досліджень, автоматизовані системи організації та управління виробництвом, теорія планування експериментів.

1. ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

При проектуванні виробничої логістичної системи використовується метод математичного моделювання – імітаційне моделювання. Суть методу полягає у заміні реальної системи цифровою моделлю та моделюванні на ній процесів функціонування реальної виробничої системи. Ефективність використання цього методу багато в чому визначається наявністю та функціоналом спеціальних програмних рішень [9].

1.1. Основні стадії проектування виробничих систем

a). Побудова та оптимізація моделі виробничої системи.

b). Розробка проектної документації:

- розробка компоновки виробничої системи;
- розробка технологічних планувань виробничих підрозділів.

c). Розробка виробничо-технологічних вимог до будівельної частини проекту.

1.2. Методологія імітаційного моделювання

Системна динаміка – метод моделювання, при якому для досліджуваної системи будуються графічні діаграми причинних зв'язків і глобальних впливів одних параметрів на інші в часі, а потім створена на основі цих діаграм модель імітується на комп'ютері.

Дискретно-подієве моделювання – метод моделювання, що пропонує абстрагуватися від безперервної природи подій і розглядати тільки основні події, що моделюються, такі як: очікування, обробка замовлення (виконання технологічної операції), переміщення об'єкта виробництва.

*Агентне мо*делювання – метод, що описує індивідуальні правила поведінки активних об'єктів, їх взаємодію між собою і з зовнішнім середовищем.

1.3. Основні цілі і завдання імітаційного моделювання

1.3.1. Проектування виробничого підрозділу з нуля

a). Проектування технологічних процесів:

- побудова технологічного процесу;
- виділення критичних шляхів;
- формування специфікації виробничого обладнання;
- формування структури робочих місць.

b). Проектування планувань виробничих підрозділів.

c). Проведення імітаційного моделювання роботи ВС, в тому числі руху матеріальних потоків через ВС:

- визначення часу виробничого циклу;
- виявлення вузьких місць. Управління коефіцієнтами завантаження устаткування;
- проведення ряду ітерацій для оптимізації по варійованим параметрам.

1.3.2. Рішення оптимізаційних завдань на існуючому виробництві

a). Побудова технологічних процесів:

- імпорт у систему технологічних процесів;
- імпорт каталогів технологічного обладнання, СТО тощо;
- виділення критичних та навколокритичних шляхів;
- призначення вартісних та часових параметрів для елементів системи.

b). Проектування планувань виробничих підрозділів.

c). Проведення імітаційного моделювання роботи ВС, зокрема руху матеріальних потоків ВС:

- визначення часу виробничого циклу;
- виявлення вузьких місць. Управління коефіцієнтами завантаження обладнання;
- проведення ряду ітерацій для оптимізації за параметрами, що варіюються.

d). Вхідні дані:

- номенклатура виробів, заготовок і графік поставок;
- елементи технологічної системи;
- елементи транспортної системи;
- елементи складської системи;
- правила руху матеріальних потоків;
- робочі зміни і графік робіт рис.1.1

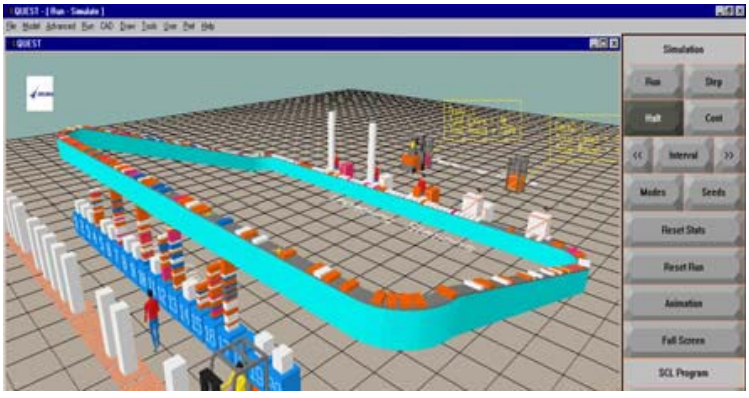


Рис. 1.1 Програмне середовище, що ілюструє технологічний процес

е). Вихідні дані:

- 2D або 3D модель логістичної системи, що наведені рис.1.2-1.4;
- звіти(Статистичні дані);
- найкращі рішення по організації роботи виробничої системи рис.1.5 -1.8;
- оптимальні значення параметрів логістичної системи (цільові функції).



Рис. 1.2 Імітаційне моделювання за допомогою програмного середовища

f). Типові елементи фізичної моделі виробничої системи (рис. 1.3.).



Рис.1.3 Типові елементи фізичної моделі виробничої системи

g). Побудова фізичної моделі виробничої системи

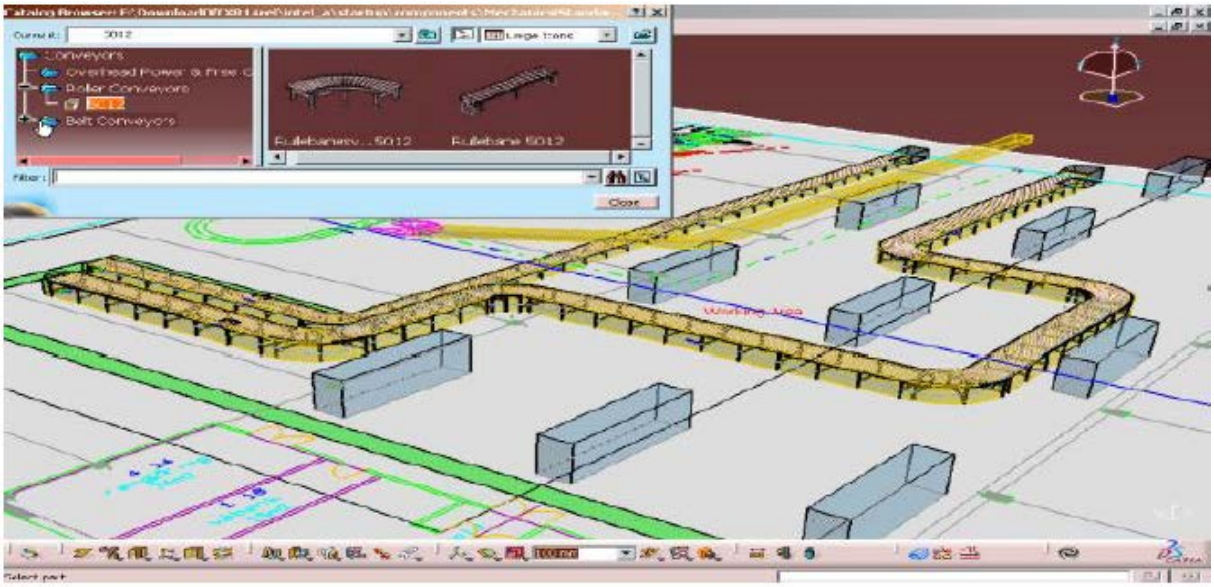


Рис.1.4 Побудова фізичної моделі виробничої системи

h). Верифікація фізичної моделі виробничої системи

Верифікація переміщень персоналу в 3Dплануванні виробничого підрозділу

Верифікація компонування робочого місця в3D

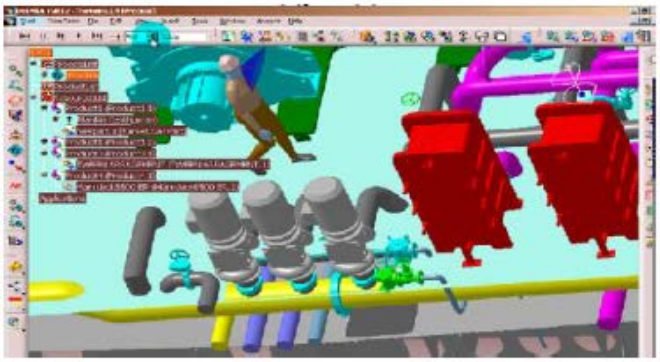




Рис.1.5 Верифікація фізичної моделі виробничої системи

і). Типові елементи логічної моделі виробничої системи

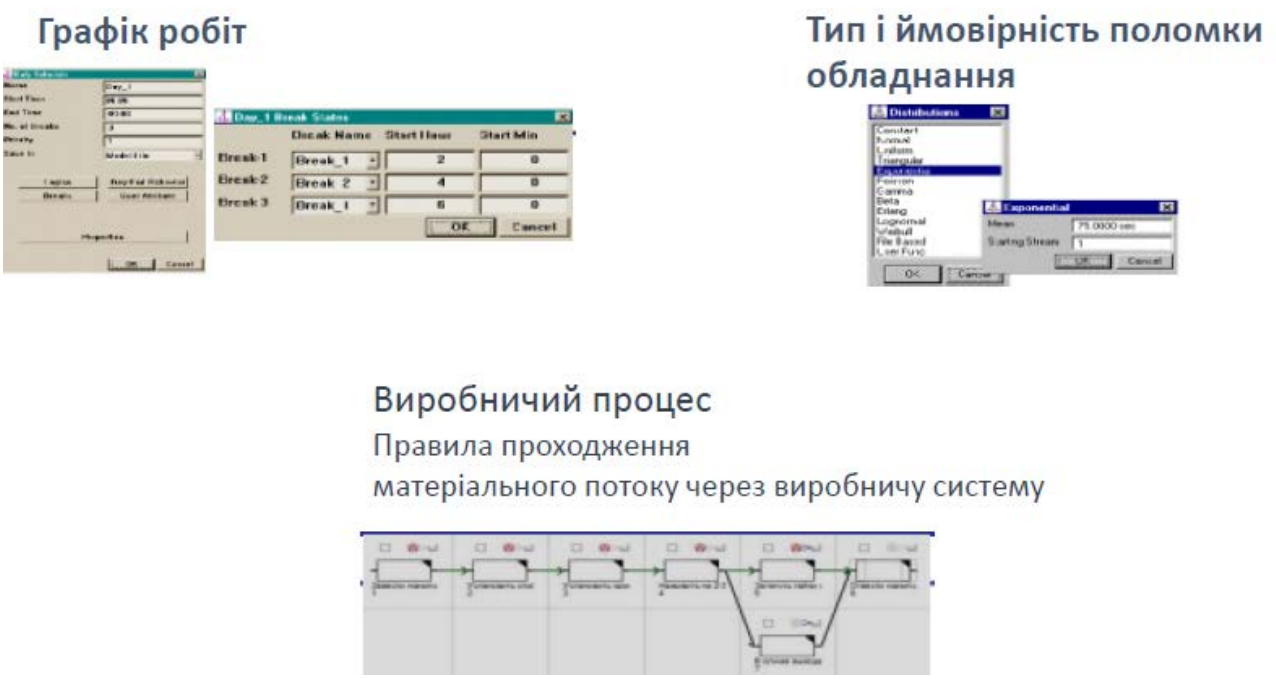


Рис. 1.6 Типові елементи логічної моделі виробничої системи

j). Побудова логічної моделі. Проектування матеріальних потоків

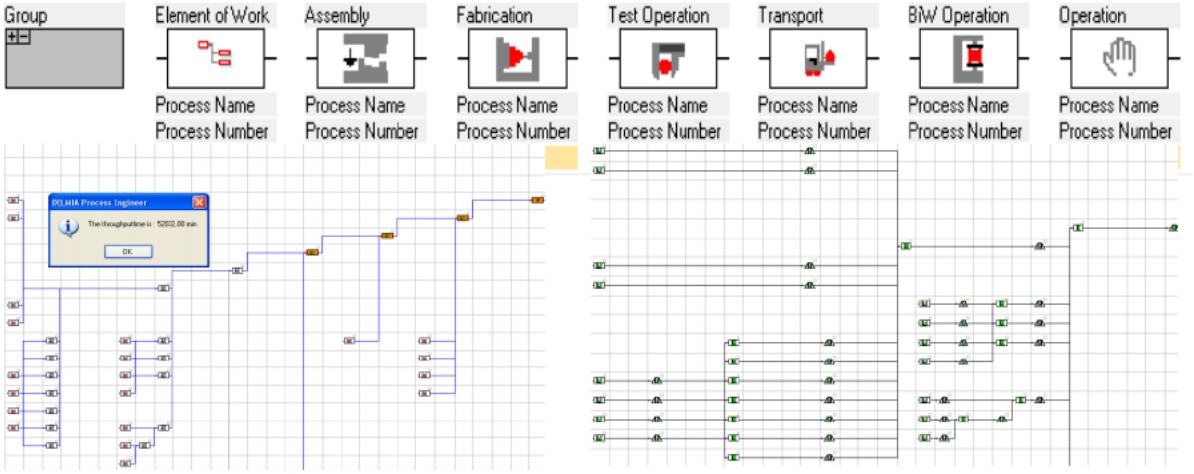


Рис.1.7 Побудова логічної моделі

k). Формування переліку операцій технологічного процесу

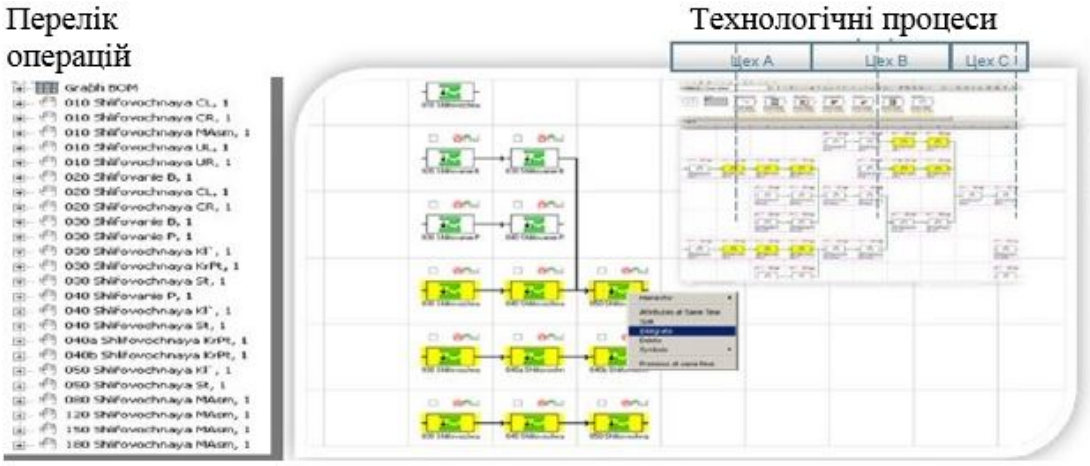


Рис.1.8 Формування переліку операцій технологічного процесу

l). Попереднє визначення складу і кількості:

- визначення структури цеху;
- визначення складу і кількості обладнання на будь- якій ділянці;
- формування попереднього планування ілюстровано на рис.1.9;
- визначення технологічної собівартості виготовлення комплексних деталей в кожному цеху;
- визначення технологічної сумарної собівартості виготовлення комплексних деталей;
- коригування складу і кількості обладнання;
- формування попереднього планування цехів.

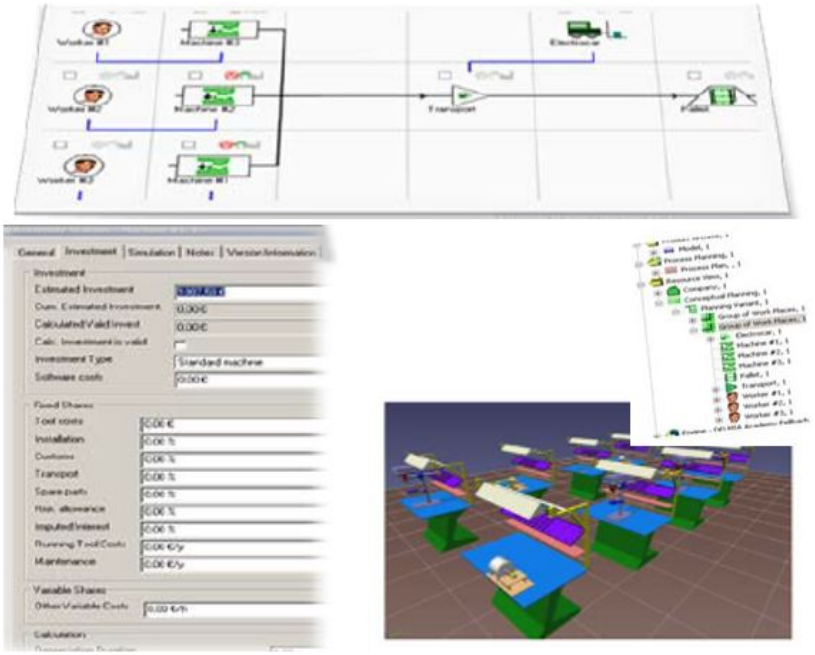


Рис.1.9 Попереднє визначення складу і кількості

1.4 Постановка експериментів. Моделювання сценарію «що, якщо?»

а). Постановка експерименту:

- визначення керованих змінних моделі рис.1.10;

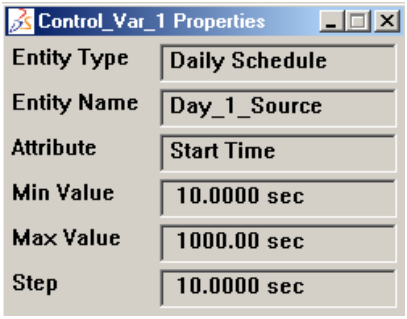


Рис.1.10 Керовані змінні моделі

- завдання діапазону і кроку зміни значень керованих змінних (рис.1.11);

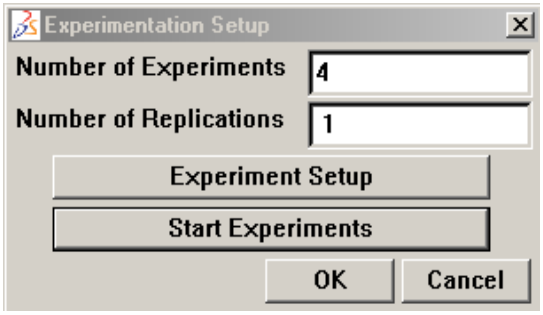


Рис. 1.11 Діапазон і крок зміни значень керованих змінних

- завдання параметрів експерименту рис.1.12;

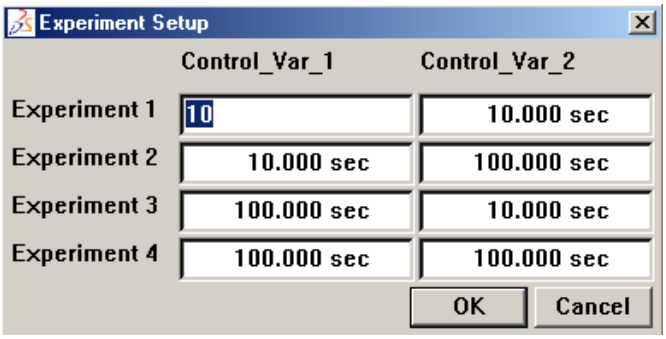


Рис. 1.12 Параметри експерименту

b). Запуск експериментів.

c). Виведення отриманих результатів рис.1.13.

Part Classes

Name	Avg. Residence Time				Created Parts				Destroyed Parts			
	Run 1	Run 2	Run 3	Run 4	Run 1	Run 2	Run 3	Run 4	Run 1	Run 2	Run 3	Ru
Part1	0.454	0.486	0.454	0.486	2048	2051	2048	2051	2041	2043	2041	2(
Pallet1	0.000	0.000	0.000	0.000	11	11	11	11	0	0	0	

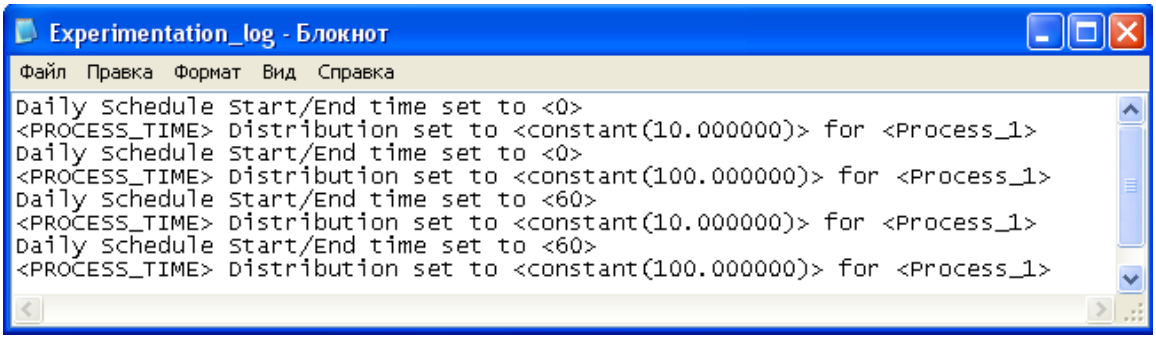


Рис.1.13 Отриманні результати

d). Виведення статистичних даних рис.1.14.



Рис. 1.14 Статистичні данні

1.5 Алгоритм оптимізації моделі

1.5.1 Постановка оптимізаційної задачі

Приклади постановок оптимізаційних задач:

- мінімізація виробничого циклу;
- мінімізація виробничої собівартості.

а). Завдання діапазону і кроку зміни значень параметрів цільової функції – керованих змінних.

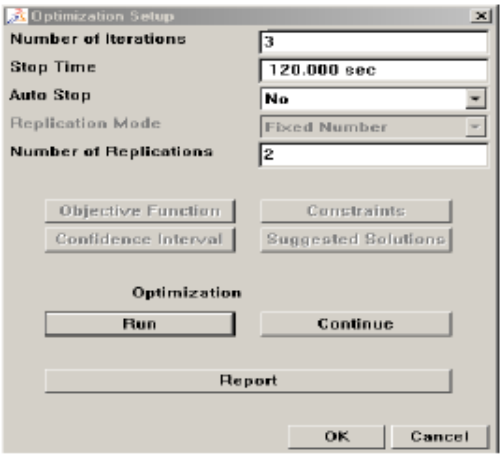


Рис.1.15 Діапазон і крок зміни значень параметрів цільової функції

b). Визначення цільової функції рис.1.16.

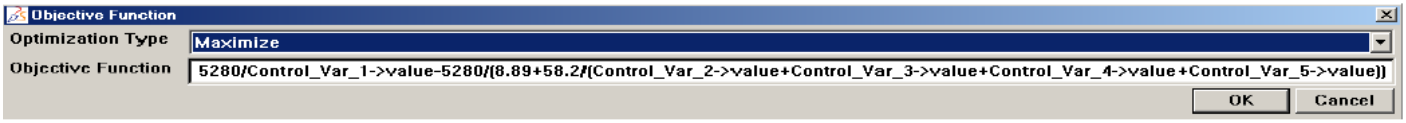


Рис. 1.16 Цільова функція

c). Завдання кількості ітерацій і повторень.

d). Завдання умов зупинки процесу оптимізації.

e). Завдання граничних умов 1.17.

f). Запуск процесу оптимізації моделі.

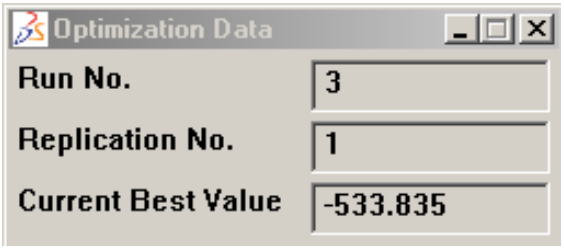
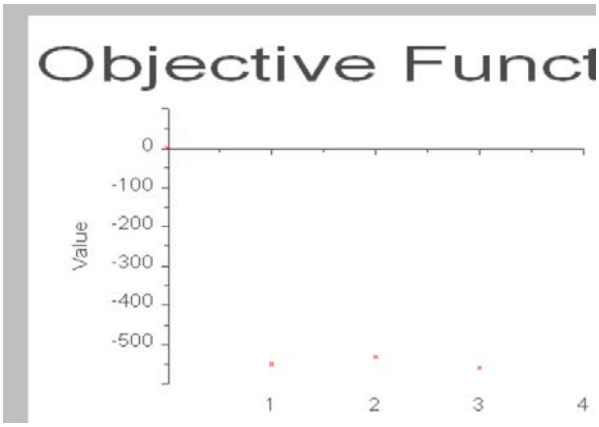


Рис. 1.17 Оптимізація моделі

g). Виведення одержаних результатів рис.1.18.

На екран монітора У файл



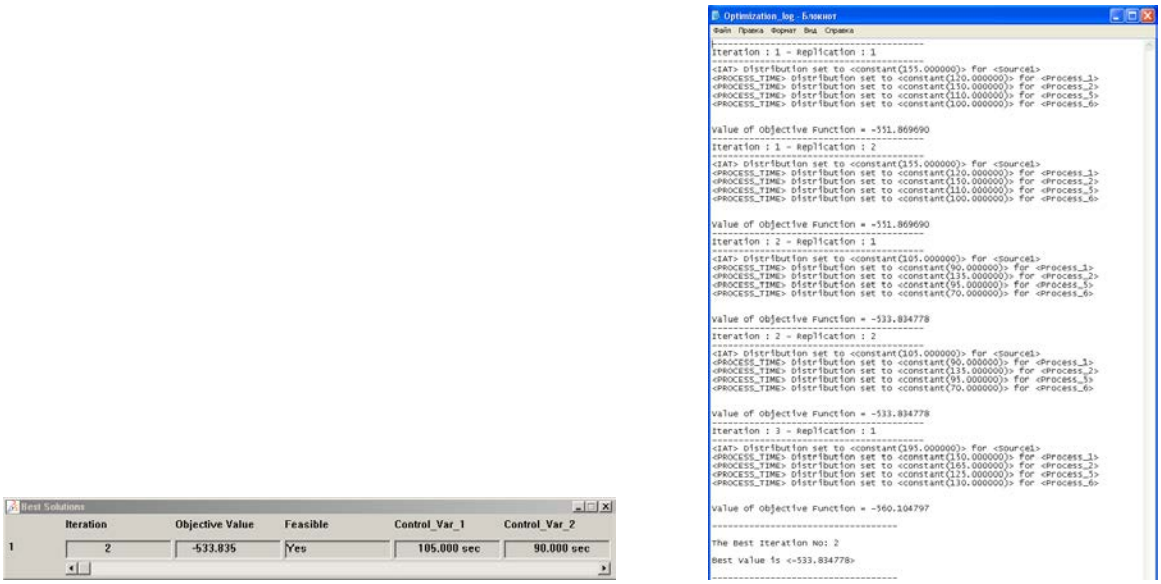


Рис. 1.18 Одержанні результати

h). Вартісний аналіз варіантів планувань виробничої системи (рис. 19).

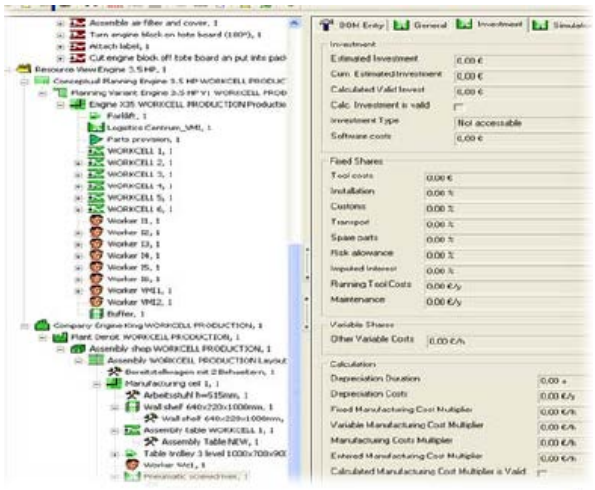


Рис.1.19 Розрахунок вартості виробничого обладнання

i). Аналіз варіантів планувань і вибір оптимального рішення (рис. 20).

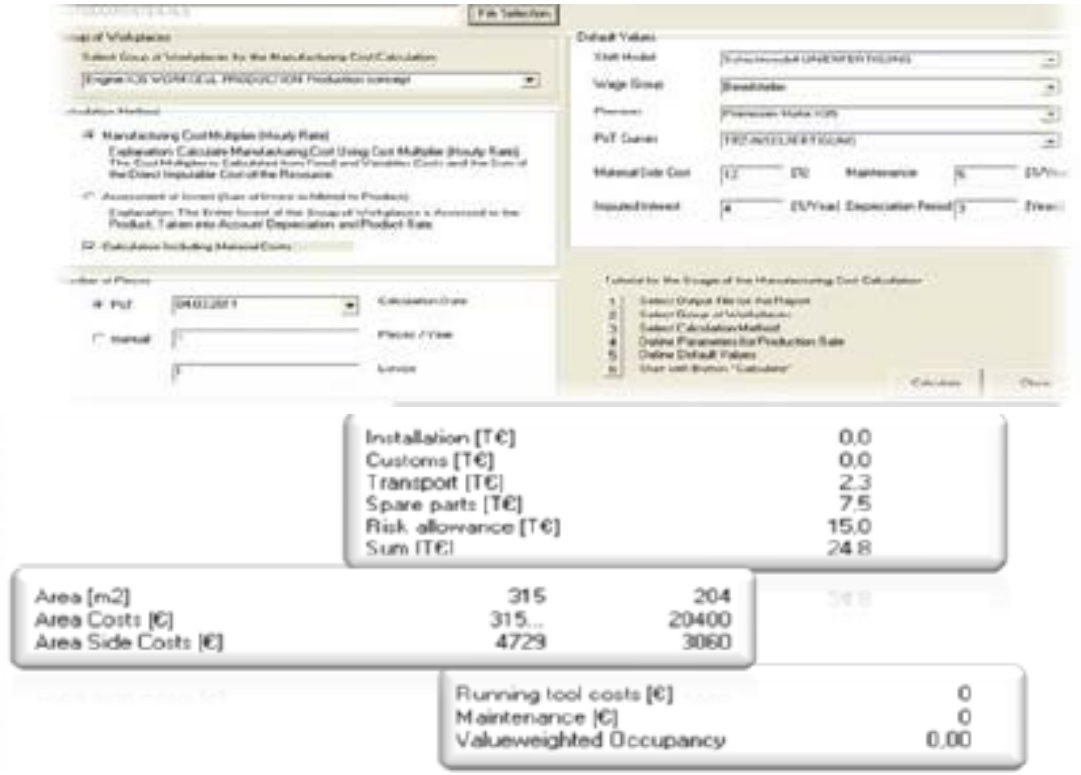


Рис.1. 20 Аналіз варіантів планувань і вибір оптимального рішення

1.5.2.Етапи оптимизації

a). Розробка планування цеху на рис 1.21.

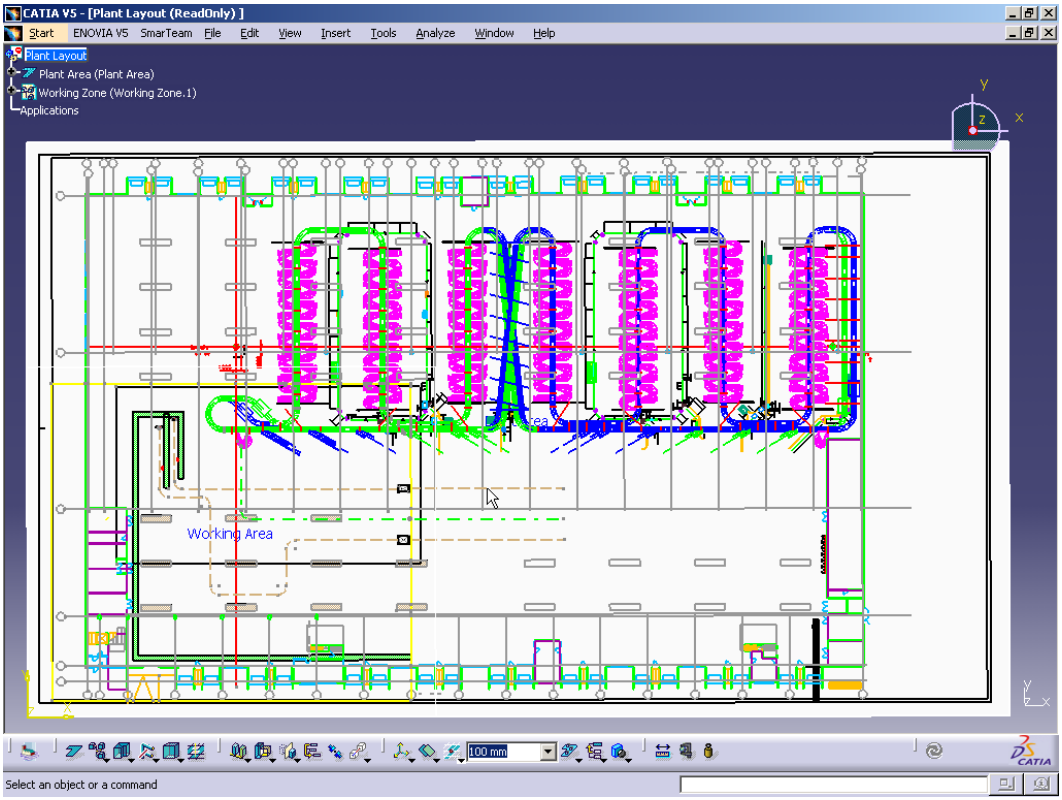


Рис1.21 Планування цеху

b). Розробка проектної документації.

:

- вимоги до фундаментів під основне і допоміжне обладнання;
- вимоги до підлоги, виходячи з значень навантаження на них транспортних засобів;
- вимоги до виробничих приміщень за рівнем вологості повітряного середовища, температури, запиленості та інше;
- вимоги до комунікацій для забезпечення роботи виробничого обладнання (електропостачання, стисненого повітря, водопостачання тощо).

d). Приклад виконаного проекту технічного переозброєння.

Мета – забезпечення заданої продуктивності цеху. Принцип організації цеху – предметно-замкнутий рис.1.23.

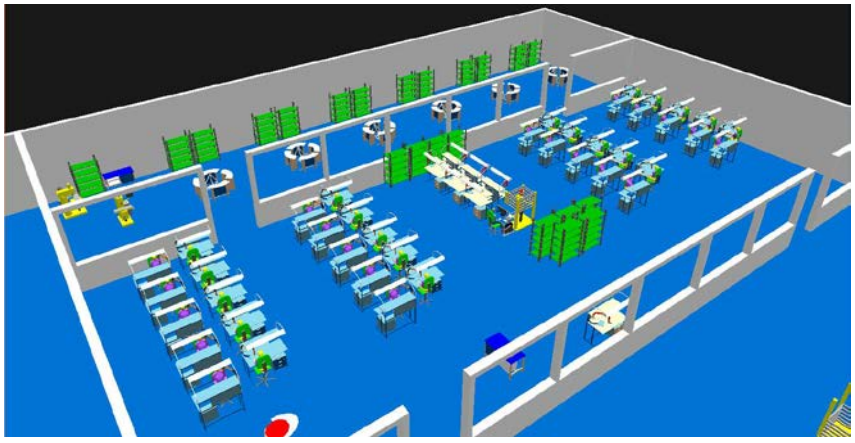


Рис. 1.23 Предметно-замкнутий принцип організації цеху

e). Початкові дані (1.24):

- планування цеху;
- номенклатура цеху;
- технологічні процеси;
- розрахунок продуктивності (статичний) N, шт / рік.



Рис.1. 24 Проект технічного переозброєння

f). Правила проходження матеріальних потоків через виробничу систему

ділянки цеху (логічна модель) рис.1.24.

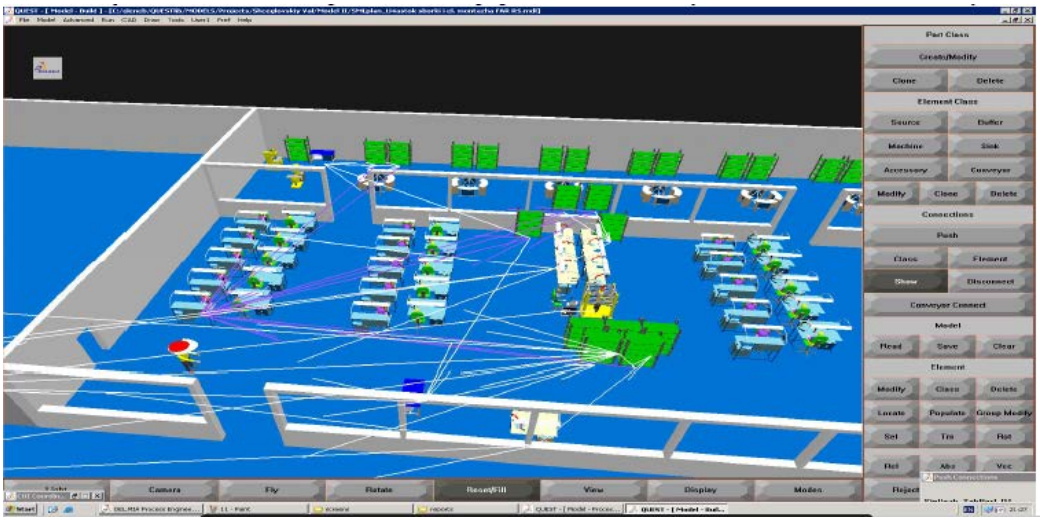


Рис.1. 25 Логічна модель ділянки цеху

g). Візуалізація моделювання.

Графічне представлення обсягу (кількості) незавершеного виробництва в поточний момент часу (рис.1.26).

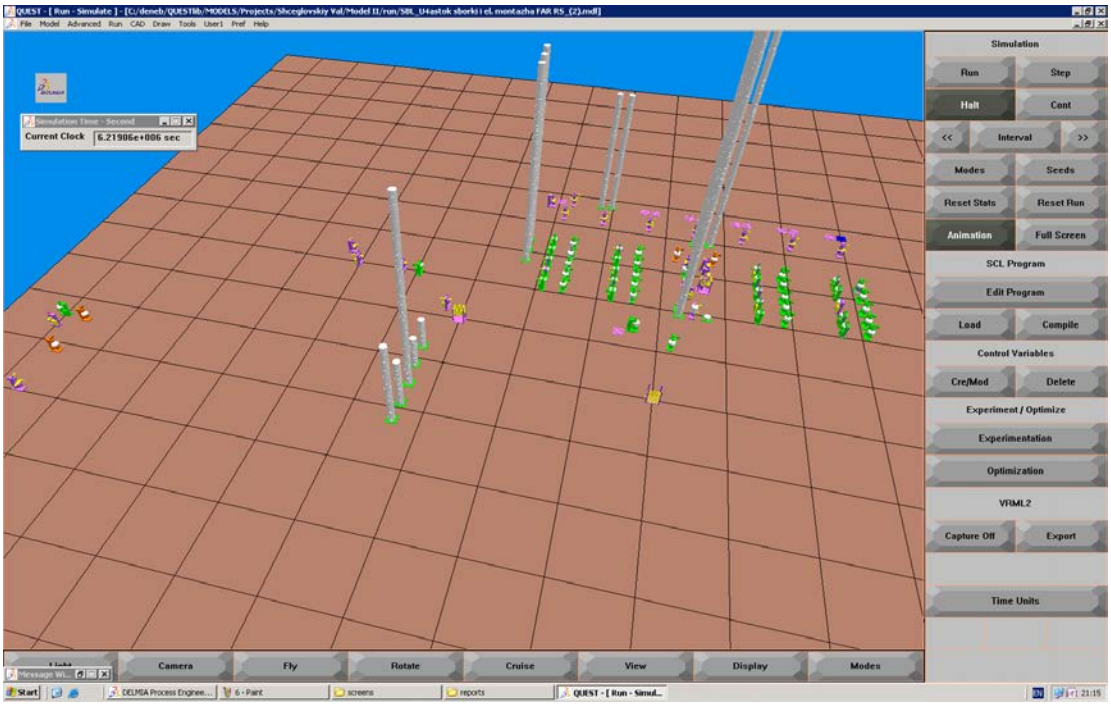


Рис. 1.26 Візуалізація моделювання

h). Аналіз результатів імітаційного моделювання.

Статичні значення (Розрахунок фахівців заводу) Продуктивність цеху N= 44 шт / рік	Динамічні значення (Розрахунок шляхом моделювання) Продуктивність цеху N = 12 шт / рік

Розбіжність значень в 3,7 рази

i). Основні причини розбіжності значень продуктивності цеху.

Виробничий цикл виготовлення виробу прийнятий рівним технологічному циклу. Не враховуються втрати часу з виробничих причин. Не враховується критичний шлях виготовлення комплектуючих, що визначає виробничий цикл виробу.	Виробничий цикл виготовлення виробу визначається шляхом імітаційного моделювання. Враховуються взаємні впливи матеріальних потоків (збої в комплектації складальних операцій, виконання транспортних і складських операцій, організаційні простої транспортного та технологічного обладнання і ін.) Враховується критичний шлях виготовлення комплектуючих, що визначає виробничий цикл виробу.

j). Порівняння рішень за результатами моделювання рис.1.27 -1.28.

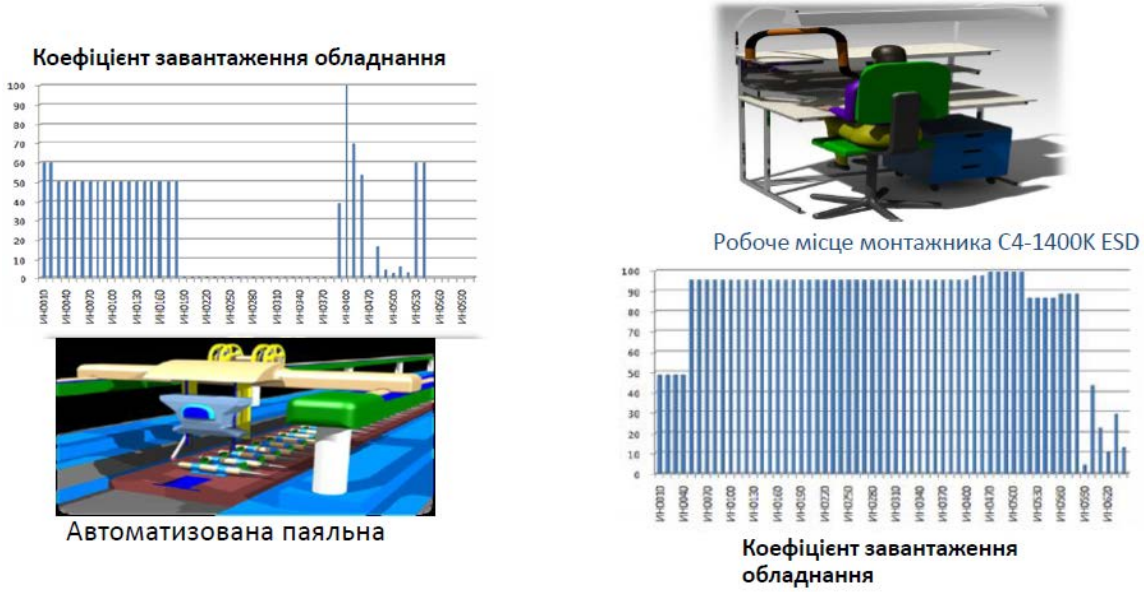


Рис.1. 27 Порівняння рішень за результатами моделювання



Рис. 1.28 Планувальні рішення за розрахунками заводу та за результатами моделювання

k). Порівняння рішень за результатами моделювання:
- продуктивність збільшена на 313%;
- виробнича площа залишилася без змін;
- змінена специфікація технологічного обладнання (тип і моделі обладнання та їх кількість).

l). Оцінка економічної ефективності, порівняння варіантів виробництва на основі розрахунку показників собівартості продукції, продуктивності праці, ефективності капіталовкладень рис.1.29:

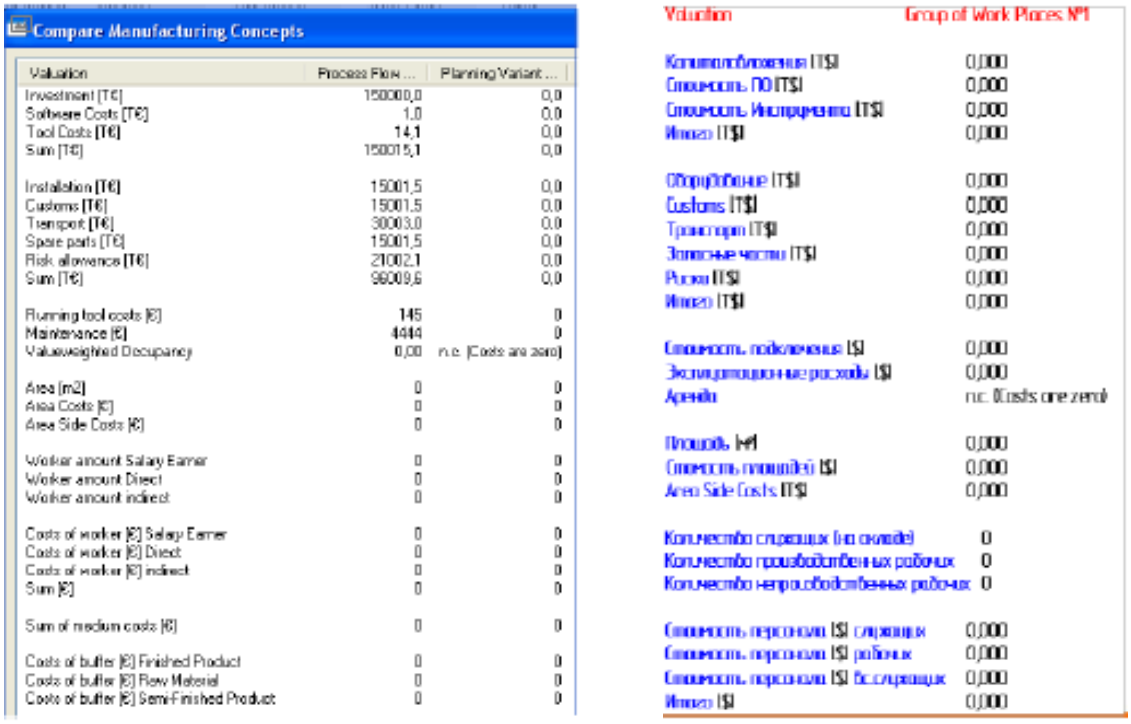


Рис. 1.29 Оцінка економічної ефективності

m). Завантаження робочих місць ділянки.

Таблиця 1.3 Завантаження робочих місць ділянки

Name	State Times			Utilization (%)	Avg. Process Time	Parts Added	Parts Rejected	No. of Products
	Idle	Busy - Processing	Blocked - Wait Block					
U4astok_sborki_i_el__montazha_FAR_RS	4332.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0	0	0
Stellazh_kompl_one_LIN	4331.000	1.000	0.000	0.023	67.028	480	0	16920
Rab_mesto_mont_a_C4_1400_K4_N1	294.748	4037.252	0.000	93.196	9.562	1058	0	1192
Rab_mesto_mont_a_C4_1400_K4_N1_2	894.607	3437.393	0.000	79.349	8.640	1335	0	1155
Rab_mesto_mont_a_C4_1400_K4_N1_3	1158.963	3173.038	0.000	73.246	9.498	1207	0	1058
Rab_mesto_mont_a_C4_1400_K4_N1_4	654.728	3677.272	0.000	84.886	9.626	1104	0	1131
Rab_mesto_mont_a_C4_1400_K4_N1_5	1401.861	2930.139	0.000	67.639	10.838	1034	0	951
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
Verstak_BC_2M_PuD_1_1__State_1_7_1_N2	824.778	40038.000	0.000	97.982	667.597	60	0	60

2. ПОНЯТТЯ ТЕОРЕТИЧНОЇ ЛОГІСТИКИ

Теоретики в області логістики на перших порах вивчали історично сформовані прийоми і методи організації процесів, аналізували техніку і варіанти дій, а також розробляли рішення для поточних завдань [10].

Щоб встигати за змінами в практиці і бути спроможними ефективно використовувати нові операційні можливості, теоретична логістика повинна перетворитися з переважно описової, орієнтованої на досвід науки, в раціонально обґрунтовану пізнавальну науку табл.2.1.

Теоретична логістика повинна знайомити з основами і стратегіями логістики, а також організаційними, технічними і економічними варіантами дій, призначеними для систематичного і цілеспрямованого вирішення логістичних завдань на практиці.

2.1.Покоління програмних засобів імітаційного моделювання

Таблиця 2.1 Покоління програмних засобів імітаційного моделювання

1-е покоління	`60	Стандартні мови програмування	FORTRAN ALGOL etc.
2-е покоління	`70	Спеціальні мови програмування	SLAM SIMSCRIPT GPSS SIMULA etc.
3-е покоління	`80	Засновані на компіляторах інструменти з графічним інтерфейсом для створення моделей і анімацією	Arena Promodel Quest Witness
4-е покоління	`90	Засновані на інтерпретатора інструменти, які мають: об'єктну орієнтацію, інтегрованість, комунікацію в реальному часі, адаптацію до користувача	eM-Plant

2.2.Загальна оцінка пакетів для імітаційного моделювання

Оцінку найважливіших «споживчих якостей» пакета для імітаційного моделювання можна отримати, відповівши на питання:

1.Як підтримується (полегшується і прискорюється) робота програміста на етапах створення і налагодження моделі?

2.Яким чином програміст зможе продемонструвати

«Представнику замовника» працюючу модель і переконати його в її адекватності?

3.Чи буде достатньою швидкодія симулятора проводити такі експерименти з моделями, для яких ці моделі створюються?
4.Чи виникнуть проблеми, якщо модель треба буде інтегрувати в інформаційну систему замовника в такій мірі, як він того забажає сьогодні чи в майбутньому?

2.3.Загальні вимоги, що пред'являються до симуляторів

Гнучкість при створенні моделей (modeling flexibility):
- «довільна» гнучкість в програмах;
- можливість вийти за початкові запропоновані рамки;
- можливість застосування певних користувачем змінних і об'єктів;
- модифікація існуючих змінних, об'єктів і процесів;
- просте звернення до пакету (ease of use);
- графічний інтерфейс (GUI) або відповідні редактори.

Ієрархія в структурі моделі;
Наявність адміністратора;
Висока швидкість обробки моделей;
Зручні для користувача «front ends» (зовнішні інтерфейси);
Функції імпорту / експорту.

2.4.Вимоги, що пред'являються до симуляторів в плані застосування статистичних методів

«Хороші» генератори випадкових чисел;
Відтворення заданих функцій розподілу;
Можливість роботи з незалежними і залежними між собою послідовностями випадкових чисел;
Побудова інтервальних оцінок результатів моделювання і гістограм;
Стирання статистичних даних після фази «розігріву» моделі (warm-up);
Підтримка при плануванні імітаційних експериментів .

2.5.Вимоги, що пред'являються до симуляторів в плані виведення результатів і візуалізації:

- стандартний висновок і / або висновок для певного користувача;
- діаграми для відображення статичних показників;
- гістограми для інтерпретації випадкових показників;
- терміни їх виконання процесів;
- анімація.

Гістограми (рис.2.1).

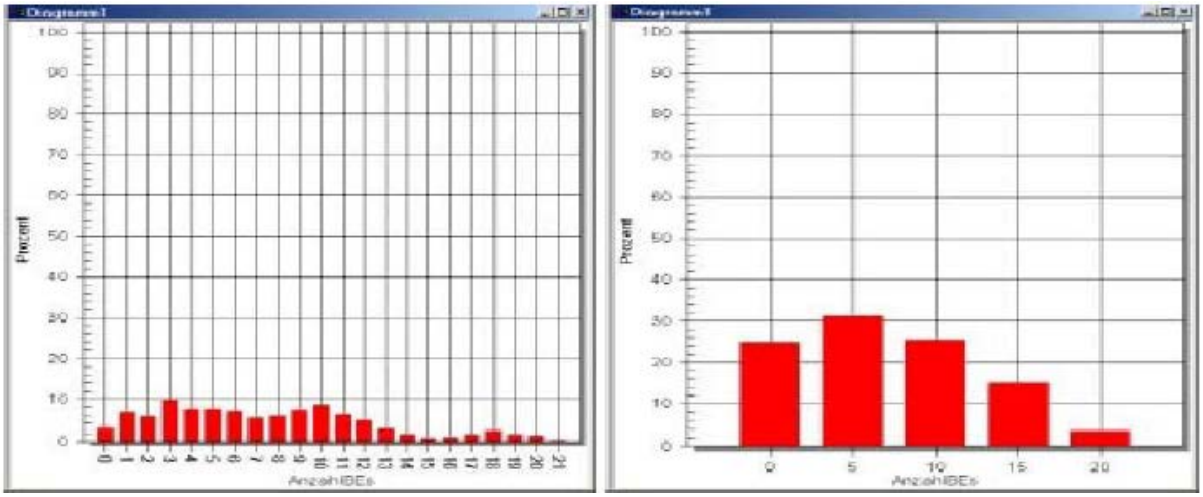


Рис.2.1 Гістограми

Діаграми Гантта (рис.2.2).

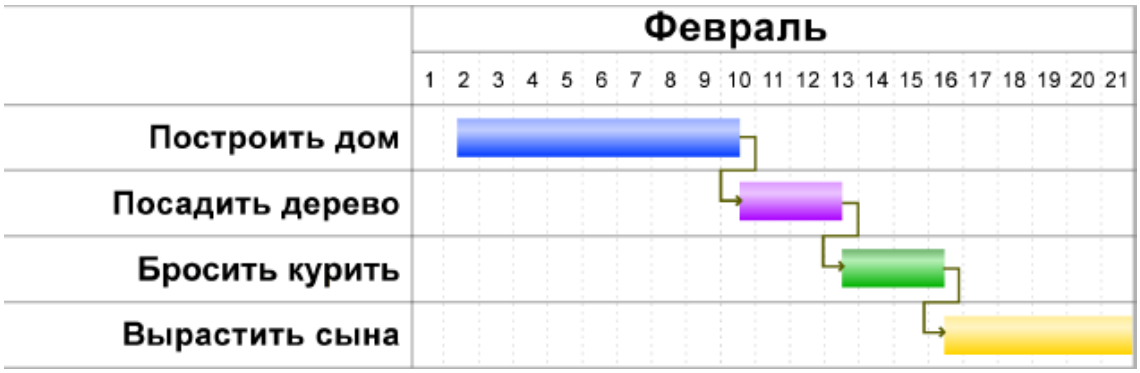


Рис. 2.2 Діаграма Гантта

Діаграма Гантта (англ. Gantt chart, також стрічкова діаграма, графік Гантта, календарний графік) – це популярний тип стовпчастих діаграм (гістограм), який використовується для ілюстрації плану, графіка робіт з якого-небудь проекту. Є одним з методів планування проектів. Використовується в додатках з управління проектами. Перший формат діаграми був розроблений Генрі Л. Гантта в 1910 році на рис 2.2.

По суті, діаграма Гантта складається з смуг, орієнтованих уздовж осі часу. Кожна смуга на діаграмі представляє окреме завдання в складі проекту (вид роботи), її кінці – моменти початку і завершення роботи, її протяжність – тривалість роботи. Вертикальною віссю діаграми служить перелік завдань. Крім того, на діаграмі можуть бути відзначені сукупні завдання, відсотки завершення, покажчики послідовності і залежності робіт, мітки ключових моментів (віхи), мітка поточного моменту часу «Сьогодні» і інші рис.2.3.

Статистичний Wizard (рис. 2.3)

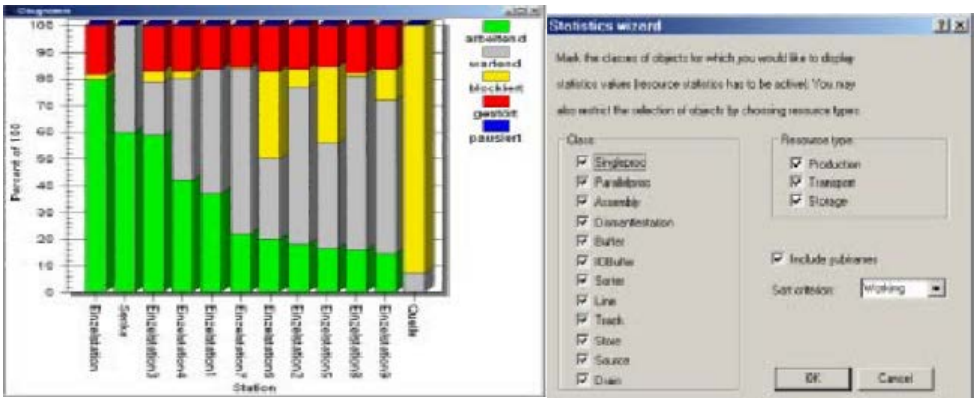


Рис. 2.3. Статистичний Wizard

3.ОГЛЯД СУЧАСНИХ СИМУЛЯТОРІВ

3.1. Arena

Моделюються конструкції, які називаються «модулями». Об'єднуються в рамках «Templates» рис.3.1.

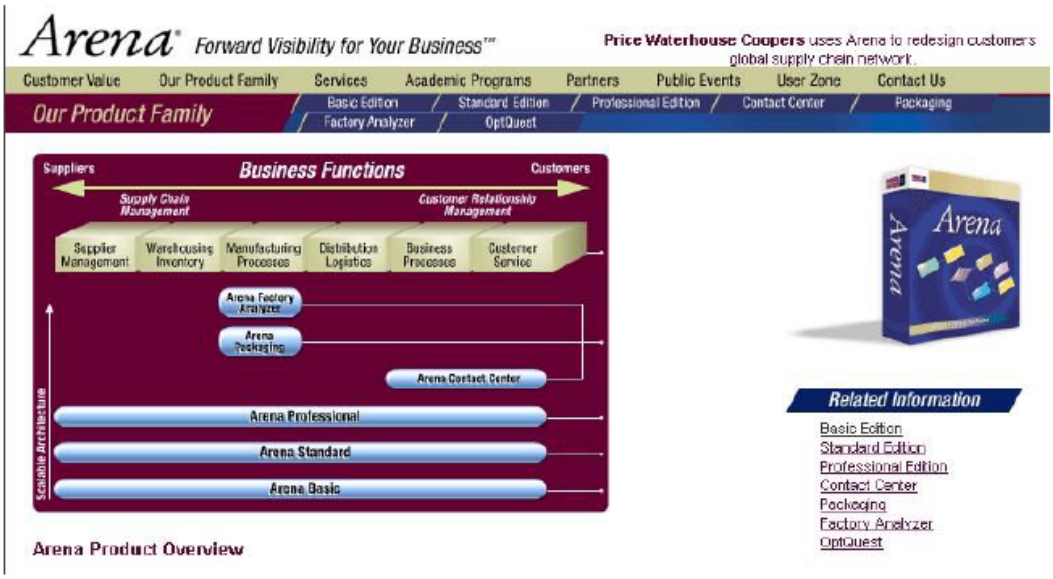


Рис. 3.1 Arena

3.2.Extend

Моделі створюються з заздалегідь підготовлених блоків; модифікацію моделі можна реалізувати за допомогою мови ModL рис.3.2



Рис. 3.2 Extend

3.3.AutoMod

Основна галузь застосування – виробництво і логістика; модифікацію моделі можна реалізувати за допомогою добре розвиненої мови програмування рис.3.3



Рис. 3.3 AutoMod

3.4.Quest

Пропонується фірмою Delmia; середовище моделювання з графічним

інтерфейсом користувача і модулями для систем обробки матеріальних потоків рис.3.4



Рис. 3.4 Quest

3.5. Tecnomatix Plant Simulation (eM-Plant)

Пропонується фірмою Siemens PLM Software (; основна орієнтація – на виробництво і логістику рис.3.5.

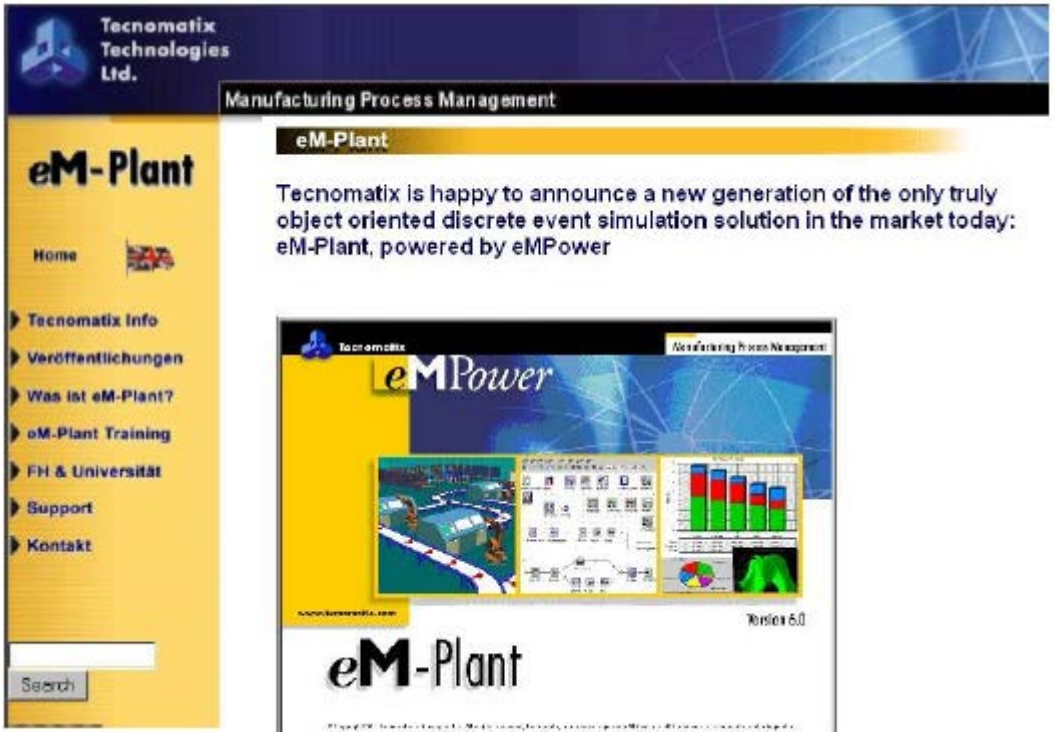


Рис. 3.5 eM-Plant (Plant Simulation)

3.6.ProModel

Пропонується фірмою PROMODEL Corporation; основна орієнтація – на виробництво і логістику; об'єднує в собі елементи моделей і мову рис.3.6.



Рис. 3.6 ProModel

3.7 Enterprise Dynamics (Taylor ED)

Пропонується фірмою F & H Simulations; моделювання грунтується на «атомах» (об'єктах)



Рис. 3.7 Enterprise Dynamics

3.8.WITNESS

Пропонується фірмою The Lanner Group; основна орієнтація – виробничі системи рис.3.8.

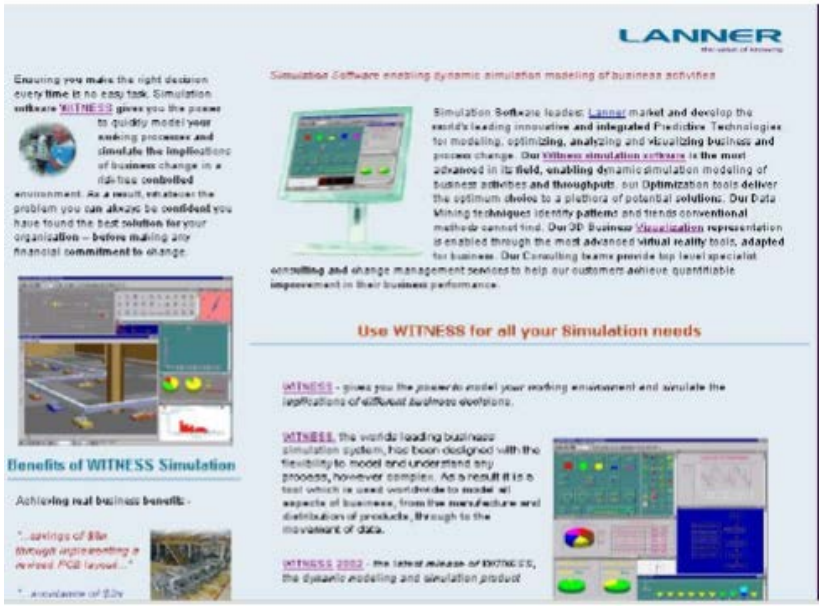


Рис. 3.8 WITNESS

3.9.AnyLogic

Пропонується фірмою XJ Techn ologies рис.3.9.



Рис. 3.9 AnyLogic

AnyLogic ™ – інструмент імітаційного моделювання нового покоління, заснований на результатах, отриманих в теорії моделювання і в інформаційних технологіях за останнє десятиліття.

Підтримуючи на єдиній платформі абсолютно всі існуючі підходи дискретно-подієвого і безперервного моделювання (блок-схеми процесів, системну динаміку, агентне моделювання, карти станів, системи рівнянь та інше), AnyLogic ™ знімає з Вас всі обмеження – аналізуйте проблему, вибирайте кошти – і йдіть до вирішення найкоротшим шляхом!

AnyLogic: особливості пакета (рис. 3.10)

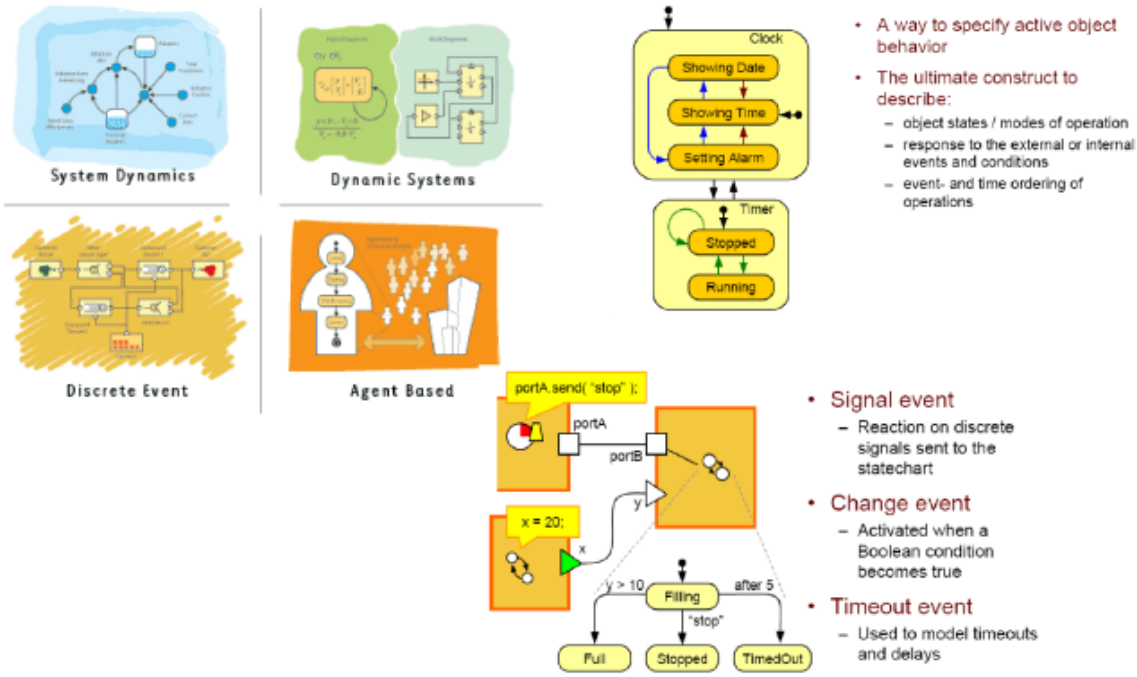


Рис. 3.10 AnyLogic: особливості пакета

DES Tools	Ranking 2006	R2006 - R2011	Ranking 2011	in 5 years	Ranking 2016
Arena	1	0	1	0	1
ProModel	2	-2	4	2	2
FlexSim	10	3	7	4	3
Simul8	7	5	2	-2	4
WITNESS	5	2	3	-2	5
ExtendSim	6	0	6	0	6
Simio		NEW	14	7	7
Plant Simulation	17	8	9	1	8
AnyLogic	15	10	5	-4	9
SIMPROCESS	4	-8	12	2	10
AutoMod	3	-5	8	-3	11
Micro Saint	14	-1	15	3	12
QUEST	8	-2	10	-3	13
Enterprise Dynamics	16	5	11	-3	14
ProcessModel	12	-1	13	-2	15
SimCAD Pro	-	-	16	0	16
GPSS World	18	-1	19	2	17
SLX + Proof 3D	11	-6	17	-1	18
ShowFlow	-	-	18	-1	19

Рис. 3.11 Порівняння сучасних симуляторів

3.10. Plant Simulation

Plant Simulation – програмне середовище імітаційного моделювання систем і процесів. Рішення призначене для оптимізації матеріалопотоків, завантаження ресурсів, логістики і методу управління для всіх рівнів планування від цілого виробництва і мережі виробництв до окремих ліній і ділянок [11].

Plant Simulation входить до складу продуктової лінійки Tecnomatix компанії Siemens PLM Software.

3.10.1. Історія продукту

У 1986 році німецька науково-дослідницька організація "Fraunhofer Society for Factory Operation and Automation" розробляє об'єктно-орієнтовану, ієрархічну програму імітаційного моделювання для Apple Macintosh під назвою SIMPLE Mac for Apple Macintosh.

У 1990 році була заснована компанія AIS (нім. Angewande Informations Systeme), якою був створений продукт SIMPLE ++ (нім. Simulation in Produktion Logistik und Engineering – симуляція у виробничій логістиці та проектуванні).

У 1991 році компанія AIS отримала назву AESOP (Angewande EDV-Systeme zur optimierten Planung).

21 жовтня 1997 року AESOP була куплена компанією Tecnomatix Technologies Ltd.

У 2000 році продукт SIMPLE ++ був перейменований в eM-Plant в рамках корпоративного ребрендингу.

На початку 2005 року компанія TECNOMATIX була поглинена компанією UGS Corp. і отримала статус окремого підрозділу. Рік по тому продукт eM-Plant був перейменований і став називатися Tecnomatix Plant Simulation Tool.

У січні 2007 року компанія UGS була придбана концерном Siemens AG. С цього моменту поставки і підтримка рішень Tecnomatix здійснюються компанією Siemens PLM Software.

3.10.2.Короткий опис

Plant Simulation – це візуальне об'єктно-орієнтоване середовище для побудови імітаційних моделей широкого класу систем. Моделі будуються з наявної бібліотеки стандартних об'єктів, в якій є кілька основних розділів:
Material Flow – об'єкти, призначені для обробки рухомих об'єктів.

Наприклад: **Source** (джерело деталей), SingleProc (одинична операція), Buffer (накопичувач), Line (конвеєр).
Movable Units – рухомі об'єкти: Entity (деталь), Container (тара), Transporter (самохідний транспорт)
Information Flow – об'єкти для інформаційного забезпечення моделі (змінні, таблиці, генератори подій, інтерфейси обміну даними, методи для обробки подій)
User Interface – об'єкти для представлення даних (графіки, діаграми)
Fluids – об'єкти для моделювання трубопроводів і потоків рідин.

Крім стандартних об'єктів доступні додаткові бібліотеки, що реалізують спеціальні об'єкти (крани, автоматизовані склади) або інструменти (нейронні мережі, генератор варіантів).

Всі об'єкти мають набір параметрів (наприклад, час операції) і поведінки. Можна будувати більш складні структури, об'єднуючи базові об'єкти і додаючи підпрограми (методи) обробки подій на мові SimTalk. Таким чином можна створювати призначені для користувача бібліотеки об'єктів і ієрархічні моделі. При моделюванні рухомі об'єкти (Movable Units) переміщаються по створеній структурі, генеруючи події в моменти часу, які визначаються параметрами об'єктів. Зокрема, при вході на об'єкт і виході з нього.

За результатами моделювання автоматично збирається статистика – продуктивність за проміжок часу, час використання обладнання, ступінь заповнення накопичувачів, будь-які інші показники. Крім звичайного, двовимірного, уявлення з анімацією на основі іконок, модель може мати тривимірне уявлення. Для створення тривимірного уявлення використовуються 3D-моделі в форматі JT.

3.10.3.Особливості продукту

Вбудована об'єктно-орієнтована мова програмування SimTalk;
Ієрархічна структура моделі з необмеженою глибиною вкладеності;
Можливість використання в симуляції статистичних параметрів відмов;
Набір аналітичних інструментів: аналізатор вузьких місць, діаграма Гантта, діаграма Сенкі і ін.;
Вбудовані універсальні інструменти оптимізації;
Автоматичне формування і проведення наборів експериментів;
Оптимізація на основі генетичних алгоритмів;
Можливість розподілу обчислень на кілька комп'ютерів;
Інтерфейси для обміну даними (ODBC, SQL, Excel, XML, ActiveX, OPC та ін.).

3.10.4.Використання

Plant Simulation використовується в багатьох галузях промисловості. Наприклад, в автомобілебудуванні, машинобудуванні, авіаційно-космічної промисловості, обробної промисловості, електронної промисловості, виробництві товарів народного споживання, логістиці, на транспорті, в суднобудуванні та інших галузях. Plant Simulation також використовується в дослідницьких цілях навчальними закладами і науковими організаціями.
На сайті доступна безкоштовна студентська версія програми:
https://www.plm.automation.siemens.com/plmapp/education/plant-simulation/en_us/free-software/student/?

4. ПОРЯДОК РОБОТИ В СИСТЕМІ TECNOMATIX PLANT SIMULATION

4.1 Моделювання виробничої лінії

Розглянемо методику моделювання виробничої лінії у середовищі *«Tecnomatix Plant Simulation»* на прикладі обробки деталей на трьох верстатах. Після запуску програмного додатку необхідно створити нову модель за допомогою кнопки *«Create New Model»* (рис. 4.1). В наступному діалоговому вікні (рис. 4.2) необхідно обрати вид моделі: двовимірна (2D) або тривимірна (3D). Обираємо 3D модель.

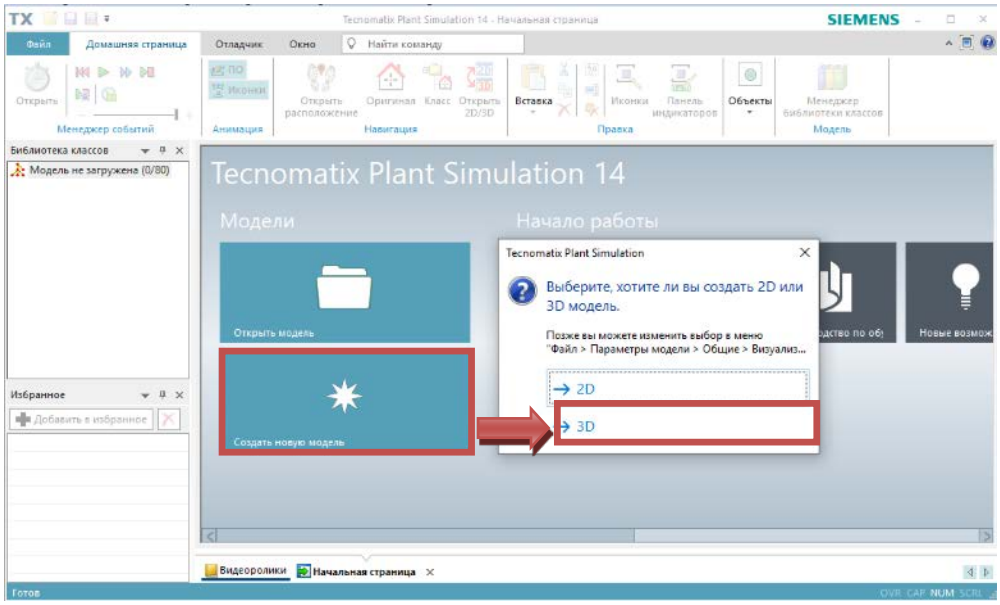


Рис. 4.1. Створення нової моделі

4.1.1 Підготовка імітаційної моделі

При проектуванні зручно використовувати режим планування, для цього необхідно обрати вкладнику *«Вид»* → *«Вид в плані»* (рис. 4.2).

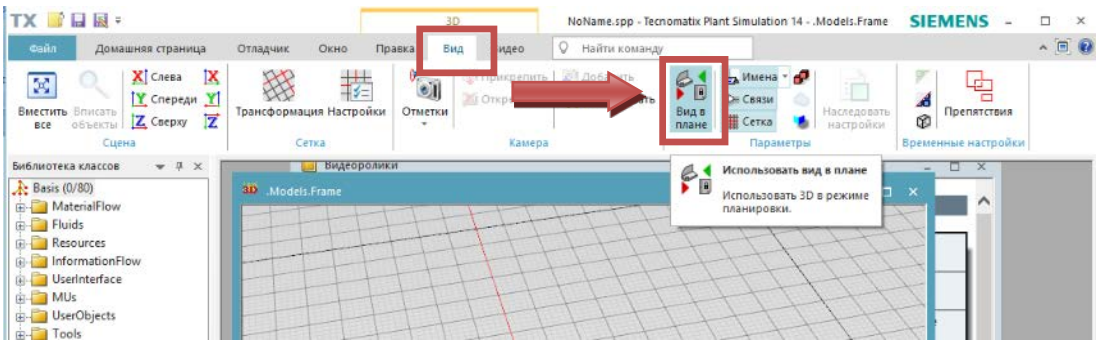


Рис. 4.2. Вибір режиму планування

Першим об’єктом, який створюється в імітаційній моделі є «*Source*» – джерело постачання деталей, які надалі будуть переміщуватись у виробничій системі. «*Source*» може, наприклад, являти собою верстати, що оброблюють деталі, або приймальний відділ підприємства. Для розміщення об’єктів використовуємо Панель об’єктів (*Toolbox*) рис.4.3.

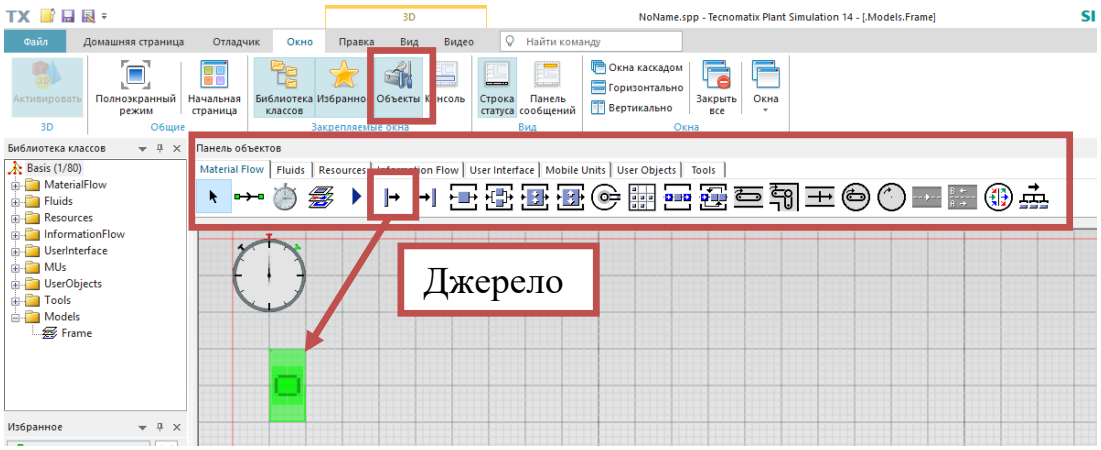


Рис. 4.3 Розміщення об’єкта «Source»

Тепер необхідно розмістити моделі трьох верстатів. Для цього в панелі інструментів обираємо «*SingleProc*» (рис.4.4). «*SingleProc*» – це узагальнений об'єкт, який представляє будь-яку станцію або верстат, на яких витрачається певна кількість часу для обробки деталі.

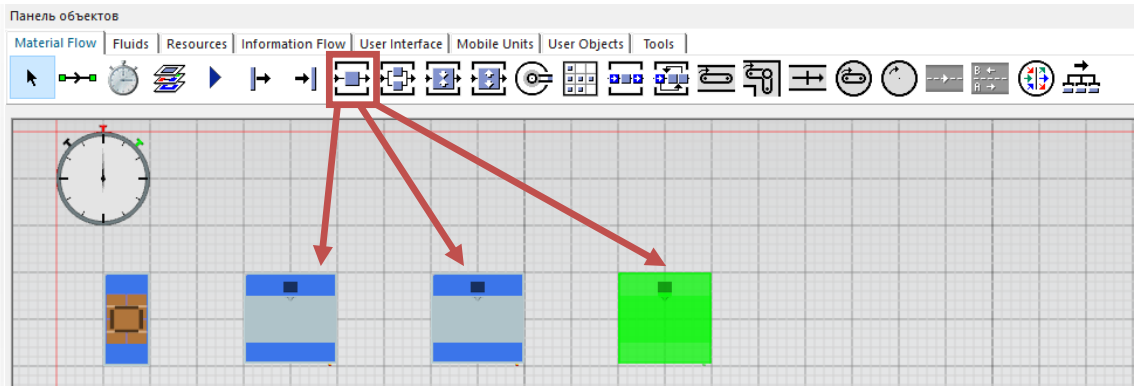


Рис. 4.4 Розміщення об’єктів «SingleProc»

Останній необхідний нам об'єкт – це «*Drain*». «*Drain*» видаляє деталі з виробничої системи. На підприємстві, це може бути, наприклад, склад готової продукції, дільниця відвантаження.

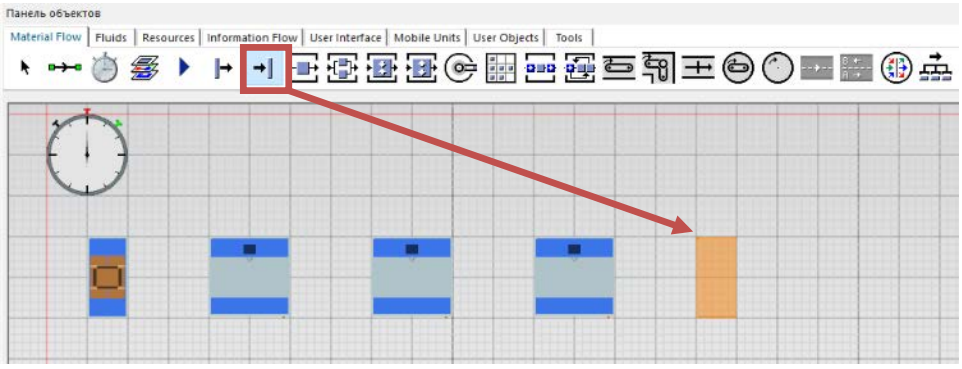


Рис. 4.5 Розміщення об'єкта «Drain»

Розміщені об'єкти необхідно з'єднати за допомогою елемента «*Connector*» (рис. 4.6). Елементи типу «*Connector*» визначають переміщення деталей між станціями виробничої системи, тобто визначають потік матеріалів.

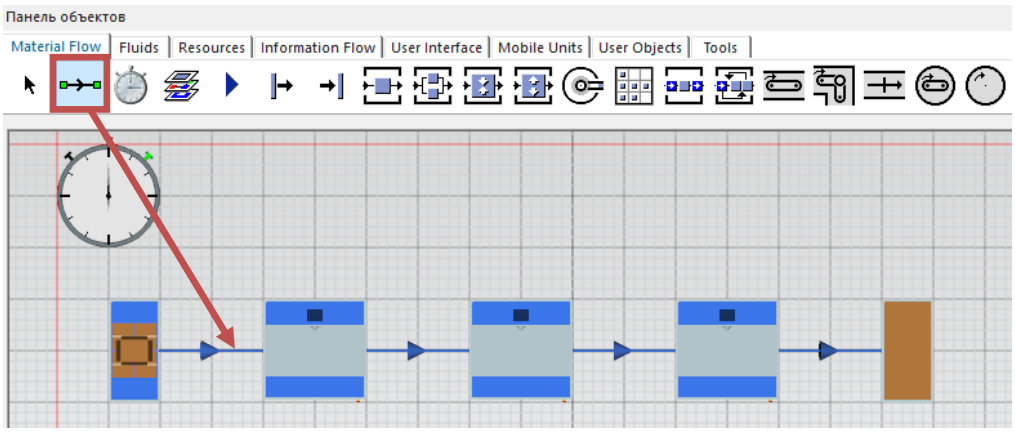


Рис. 4.6 Поєднання об'єктів за допомогою елемента «Connector»

4.1.2.Імітація виробничого процесу

Для запуску імітації виробничого процесу з анімацією тривимірної моделі переходимо в 3D режим, для цього на вкладці «Вид» натискаємо кнопку «Вид в плані» (рис.4.7). Управління симуляцією відбувається на вкладинці «*Event Controller*». Перед запуском імітації необхідно натиснути кнопку «*Reset Simulation*», а потім кнопку «*Start/Stop Simulation*». Через декілька секунд зупиняємо процес повторним натисканням кнопки «*Start/Stop Simulation*».

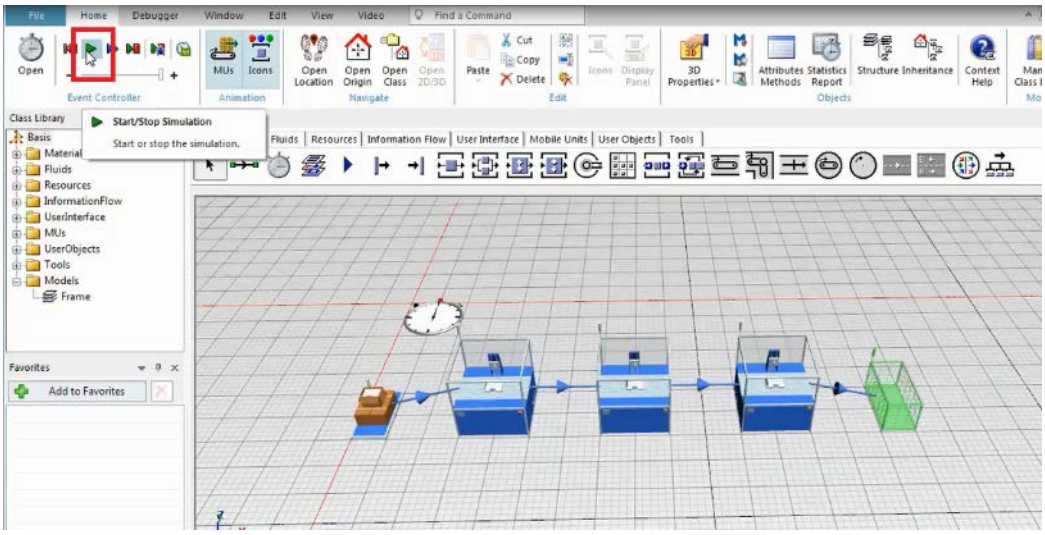


Рис. 4.7 Імітація виробничого процесу

4.1.3 Аналіз результатів імітації і корекція моделі

Для ознайомлення з результатами імітації виробничого процесу двічі натискаємо на об’єкт «*Drain*» (Рис. 4.8).

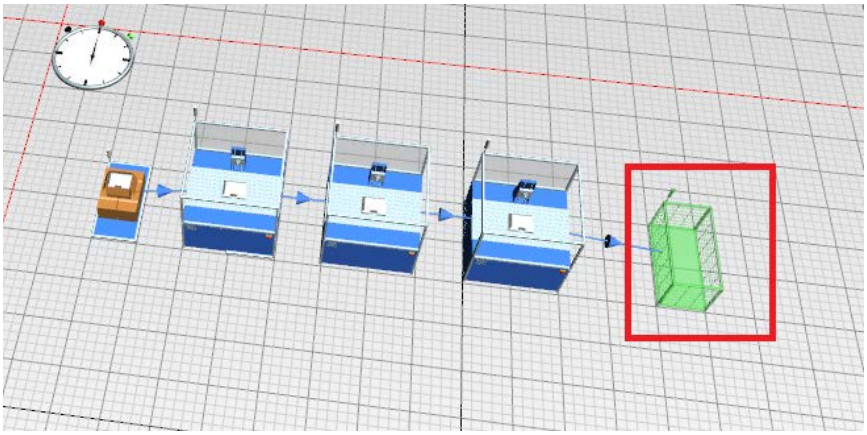


Рис. 4.8 Імітаційна модель

У вікні, що відкриється, обираємо вкладку «*Type Statistics*». На цій вкладці представлені статистичні дані, наприклад: середня тривалість життєвого циклу виробів, загальну пропускну здатність, пропускну здатність за хвилину/годину/день, тощо (рис. 4.9).

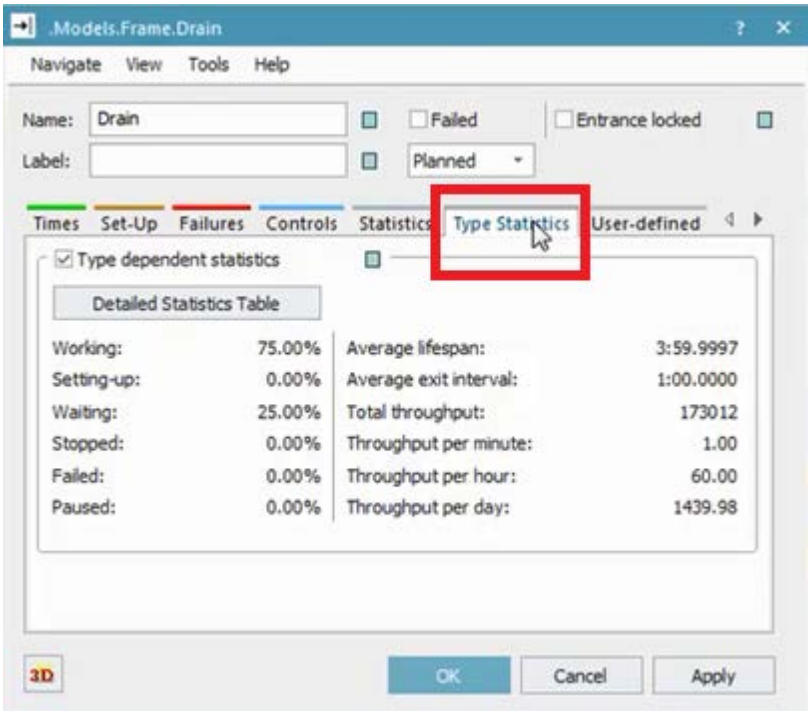


Рис. 4.9 Статистичні дані імітаційного моделювання

Результати моделювання можуть бути представлені і в графічному виді за допомогою діаграм. В панелі інструментів обираємо вкладку «*User Interface*», в ній об'єкт «*Chart*» і розміщуємо його в довільному місці (Рис. 4.10). Для того, щоб відобразити статистику ресурсів трьох верстатів на діаграмі, затискаємо *Ctrl* і послідовно обираємо об'єкти «*SingleProc*», перетягуємо обрані об'єкти на об'єкт «*Chart*» (Рис. 4.11).

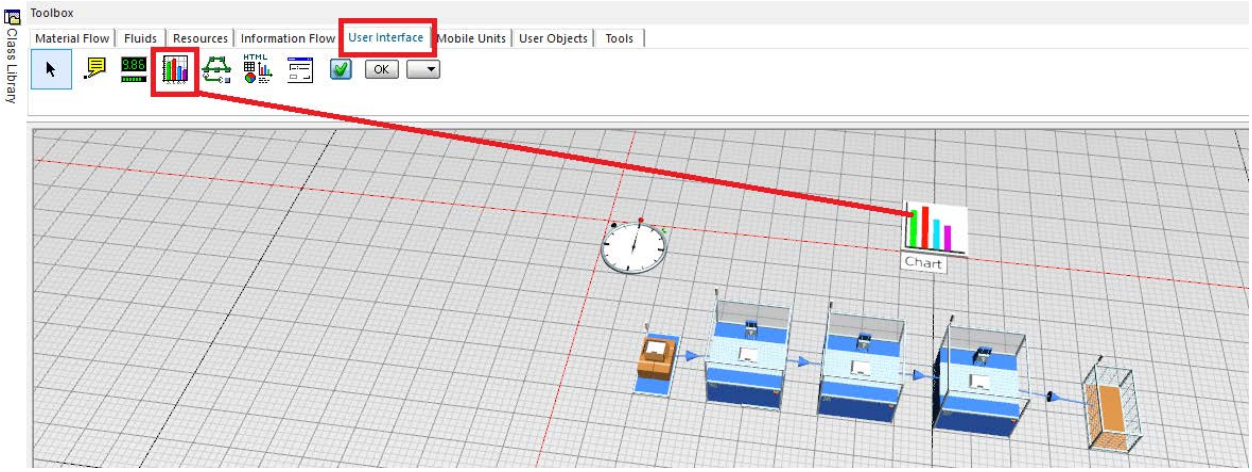


Рис. 4.10 Розміщення об'єкта «Chart»

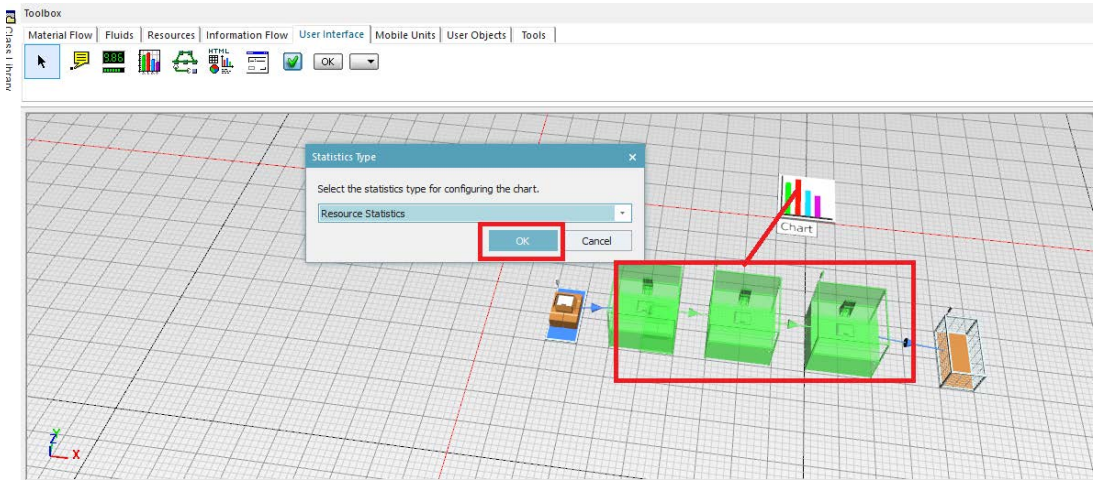


Рис. 4.11 Вибір об'єктів для відображення статистичних даних

Оскільки ніяких налаштувань моделей верстатів ще не встановлено, діаграма демонструє робочий час 100% (Рис. 4.12).

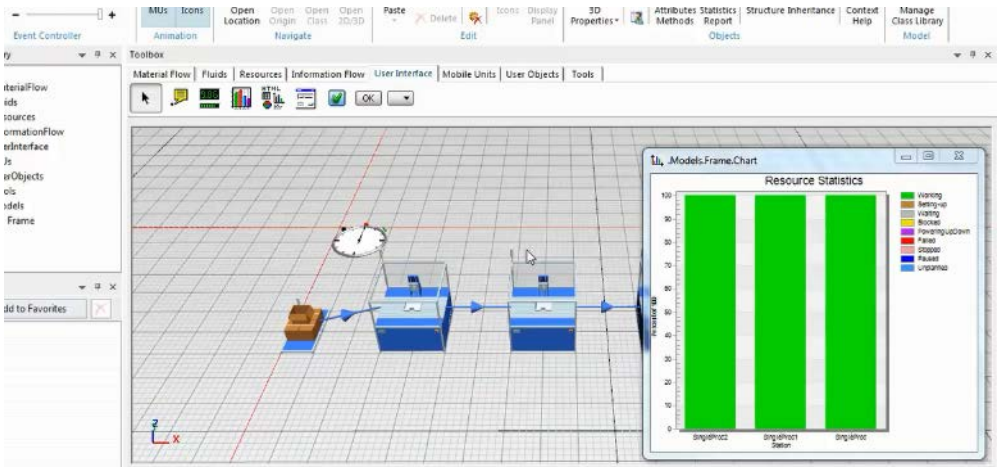


Рис. 4.12 Діаграма роботи верстатів

В реальності верстати можуть в процесі роботи виходити з ладу. Змінити налаштування доступності обладнання можна або для кожного об'єкта окремо, або для всіх об'єктів одного класу одночасно. В другому випадку необхідно в панелі інструментів «*ToolBox*» двічі натиснути на іконку об'єкту. У вікні налаштувань на вкладці «*Failure*» тиснемо кнопку «*New*» і змінюємо значення доступності верстатів на 90% рис.4.13.

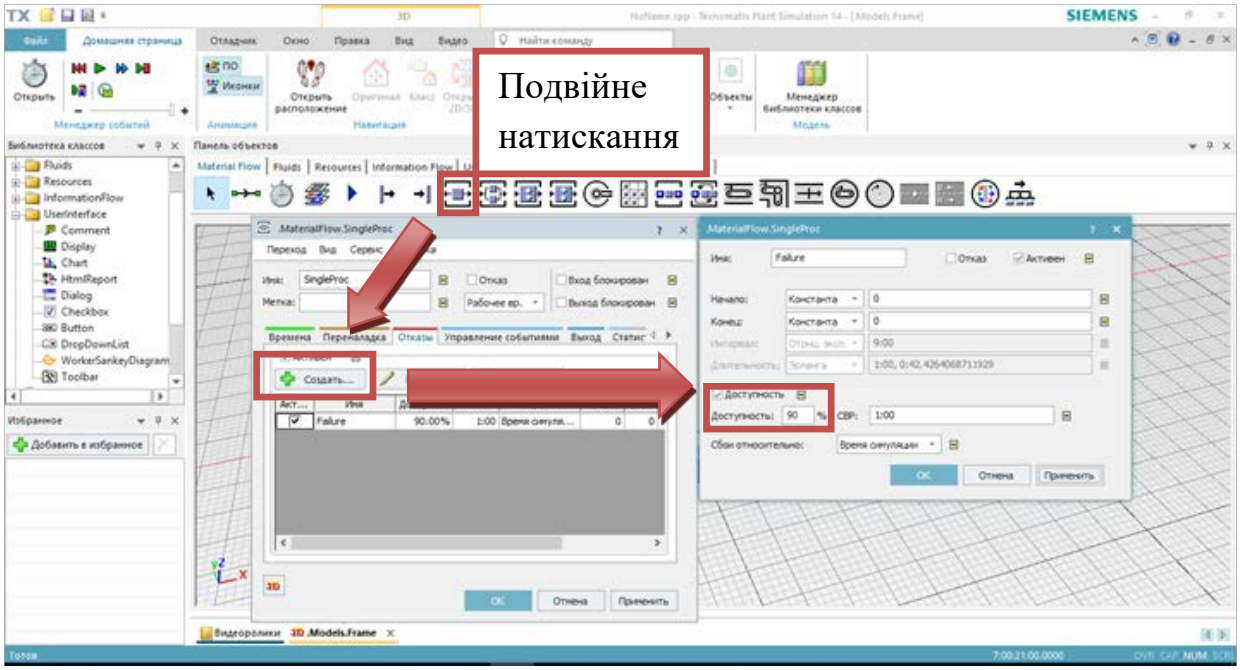


Рис. 4.13 Додавання імітації відмов у модель обладнання

В результаті повторного моделювання із зміненими параметрами («*Reset Simulation*» → «*Start/Stop Simulation*» → «*Start/Stop Simulation*») отримуємо більш реалістичну картину роботи обладнання, в якій присутні: відмови, простої і блокування (рис. 4.14).

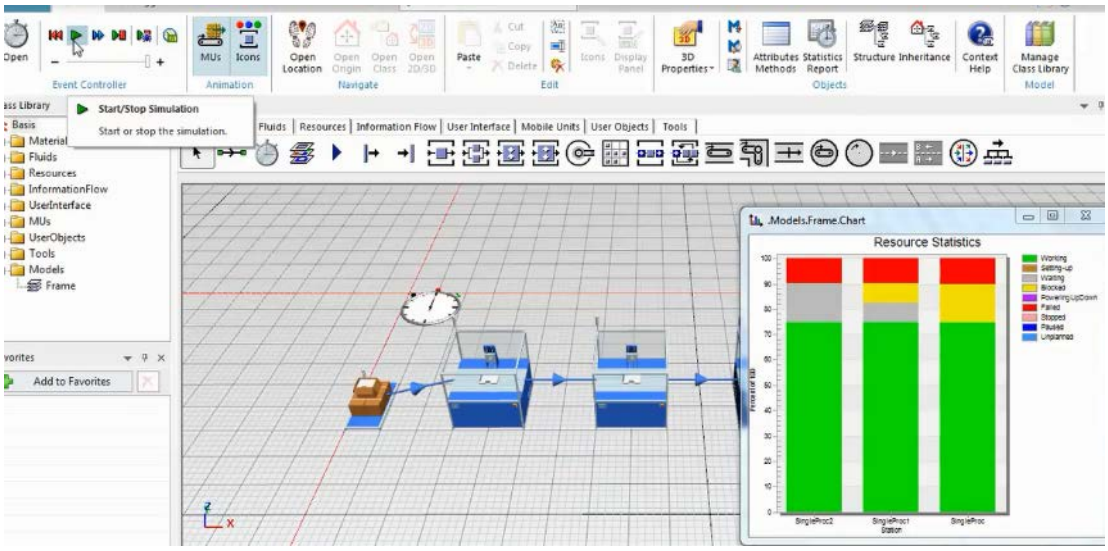


Рис. 4.14 Статистика завантаження обладнання після корекції моделей

Статистика випуску продукції також змінилась. Для її аналізу двічі натискаємо на об’єкт «*Drain*» у створеній моделі виробничої системи. Спостерігаємо відповідне зменшення пропускної здатності та інших характеристик роботи системи (Рис. 4.15).

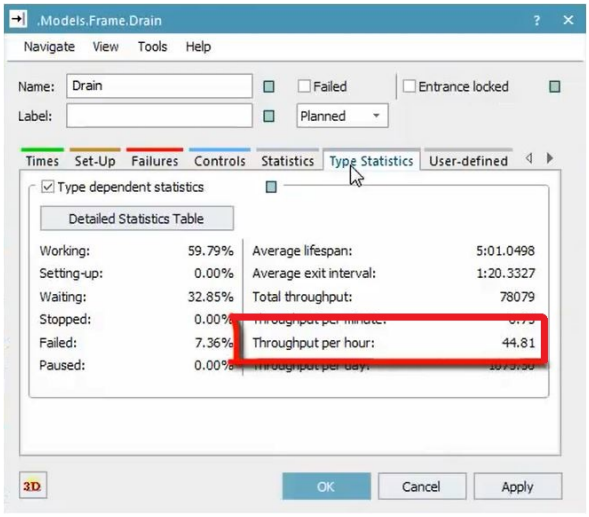


Рис. 4.15 Результати моделювання

Завдання

1. Вивчити методики моделювання виробничої ліній за допомогою програмного додатку *«Tecnomatix Plant Simulation»*.

2. Засвоїти методику організації та створення виробничої ліній.

3. Організувати і провести в лабораторних умовах імітацію виробничої лінії з застосуванням двох верстатів.

Таблиця 4.1. Вихідні дані

Перша цифра	Кількість верстатів, шт.	Розміщення верстатів	Друга цифра	Відсоток доступності, %	Час першої операцій, год.	Час другої операцій, год.
0	2	Послідовне	0	10	2	1,5
1	3	Трикутником	1	20	4,5	3
2	4	Паралельне	2	35	3	5,5
3	5	Трикутником	3	85	5,5	2
4	4	Послідовне	4	60	3	1
5	3	Трикутником	5	40	4	1,5
6	2	Паралельне	6	25	2	0,5
7	6	Послідовне	7	15	5	1,5
8	3	Трикутником	8	92	2	3
9	2	Паралельне	9	70	2,5	2

Зміст протоколу

В протоколі навести фізичну модель виробничої лінії, статистику типу виробничого процесу, статистику ресурсів, статистику ресурсів зі збоями в роботі, статистику типу зі збоями у виробничому процесі (у вигляді копії екрану). Висновки і пояснення. Додати файл імітаційної моделі виробничої лінії.

4.2.Створення власного класу об’єктів

Для моделювання виробничої дільниці необхідно запустити програмний додаток *«Tecnomatix Plant Simulation»*. Щоб створити нову модель, натисніть кнопку *«Create New Model»*. Для виконання даної лабораторної роботи оберіть 3D-модель.

У бібліотеці класів натисність правою кнопкою миші на *«SingleProc»*, а потім оберіть *«Duplicate»* (рис. 4.16).

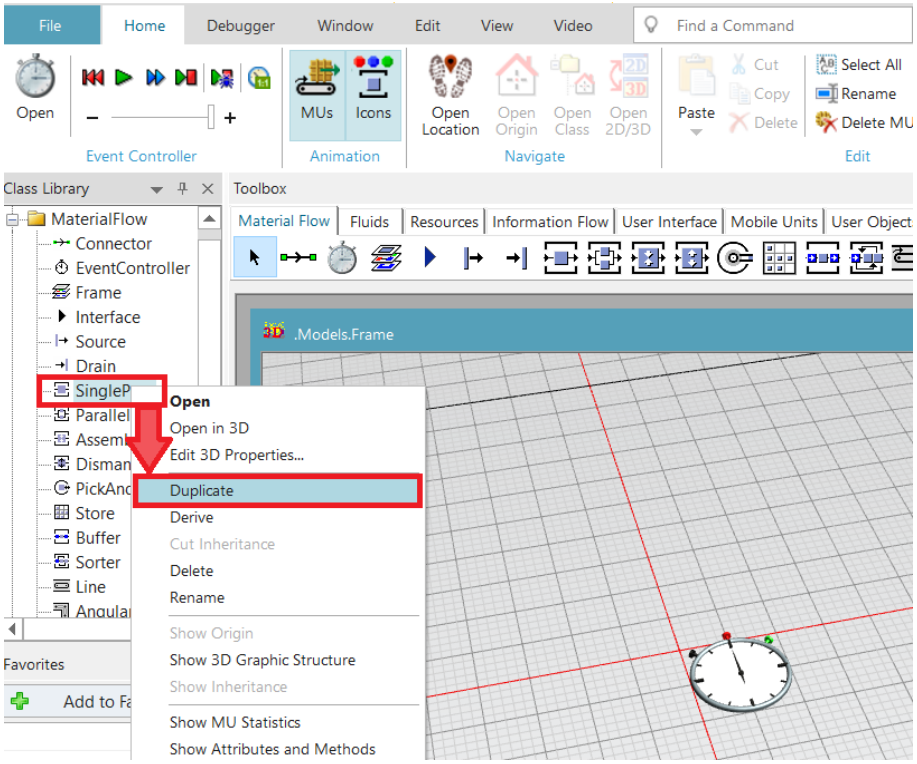


Рис. 4.16 Створення власного класу об’єкту «SingleProc»

Змініть назву створеного класу об’єктів. Для цього натисніть правою кнопкою миші на новостворений клас об’єктів та оберіть *«Rename»*. Введіть нову назву класу – *«MyStation»* (рис. 4.20).

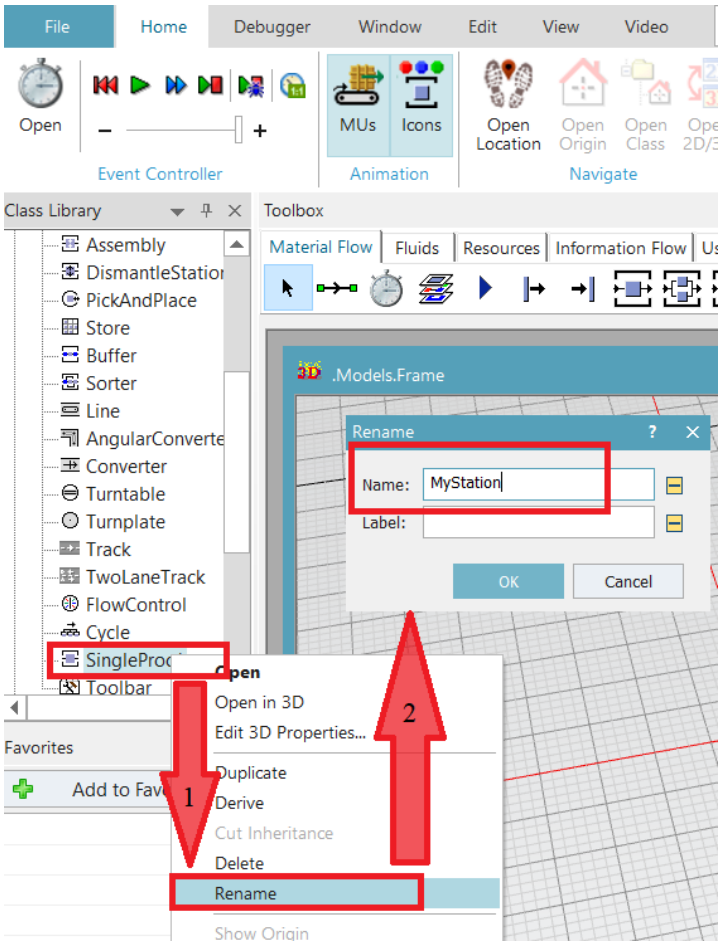


Рис. 4.20 Перейменування класу об'єктів

Додайте новоутворений клас до панелі «*MaterialFlow*» шляхом перетягування (рис. 4.21).

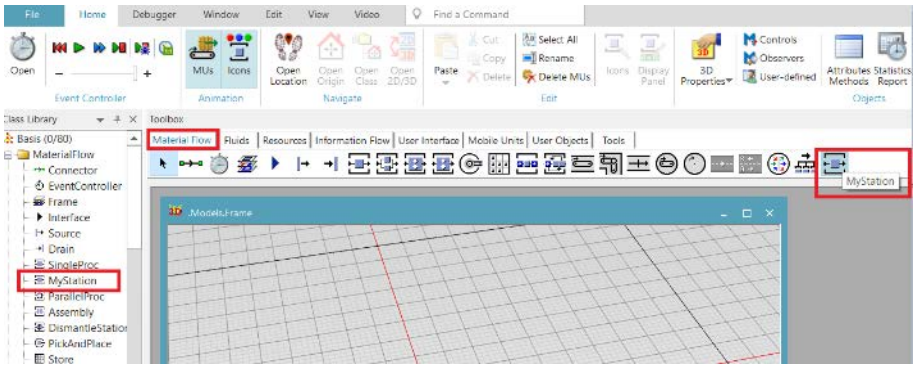


Рис. 4.21 Додавання нового класу до панелі «MaterialFlow»

У вкладці «*View*» на панелі інструментів оберіть «*Planning View*». Це полегшить роботу по розташуванню об'єктів у правильному положенні.

У робочу зону необхідно помістити наступні об'єкти (рис. 4.22):

1. *Source.*
2. *MyStation.*

3. *MyStation1*.
4. *Drain*.

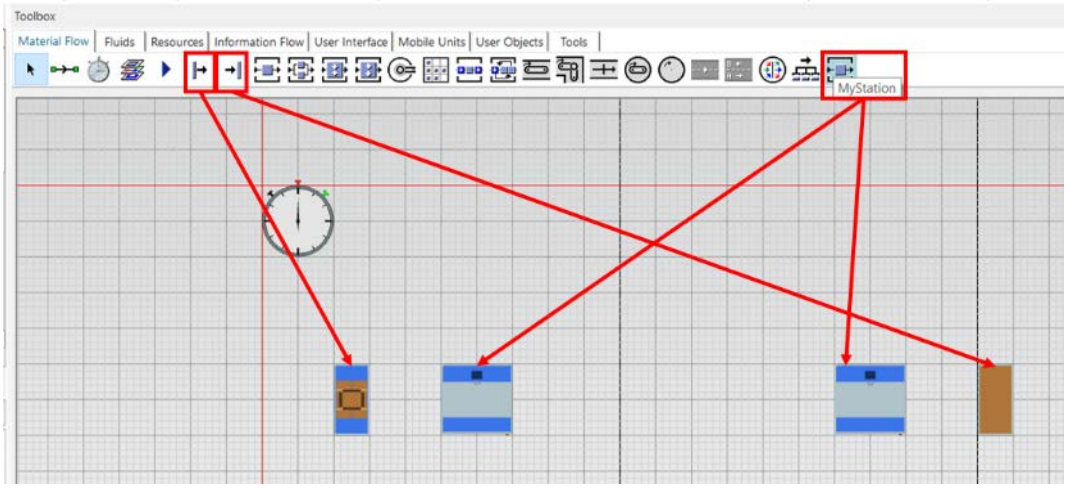


Рис. 4.22 Розміщення необхідних об'єктів у робочій зоні

Об'єкти з'єднуємо між собою з допомогою елементу *«Connector»* (рис.4.23).

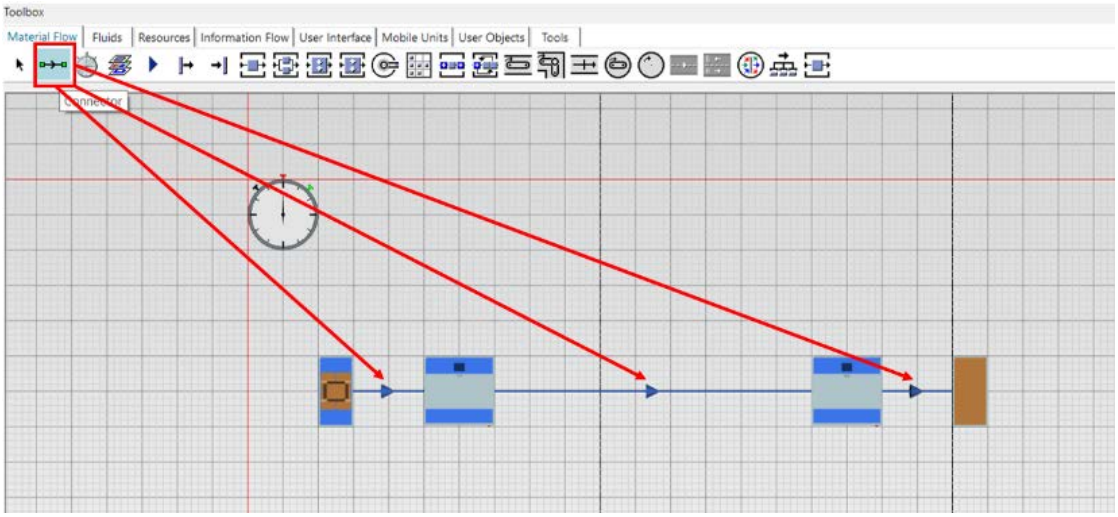


Рис. 4.23 З'єднання об'єктів з допомогою елемента «Connector»

Результати моделювання у графічному вигляді можна відобразити за допомогою діаграми. Для цього у вкладці *«Userlnterface»* оберіть *«Chart»*. Виділіть *«MyStation»* та *«MyStation1»* та перетягніть їх на діаграму (рис. 4.24).

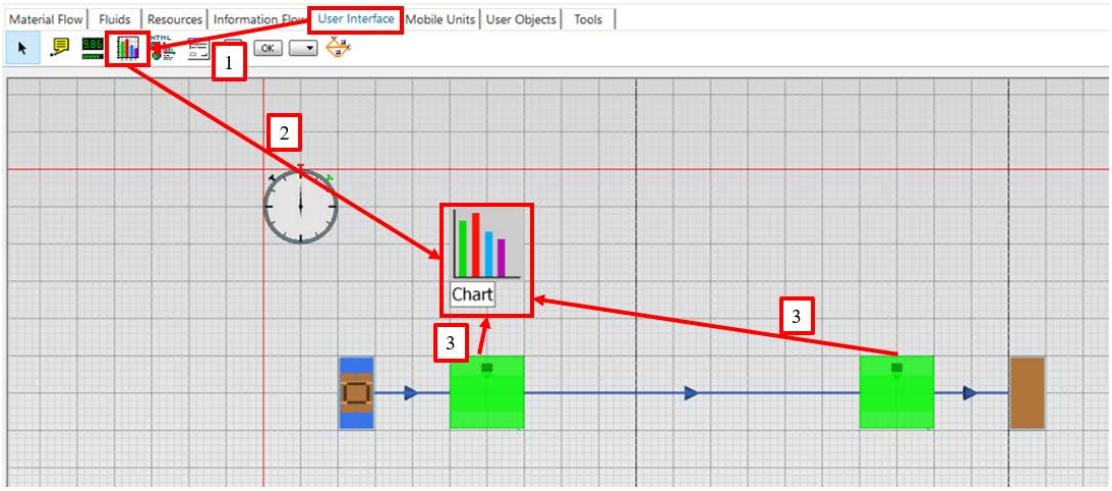


Рис. 4.24 Розміщення діаграми в робочій зоні

У діалоговому вікні, що з'явилося, потрібно натиснути «ОК» (рис. 4.25).

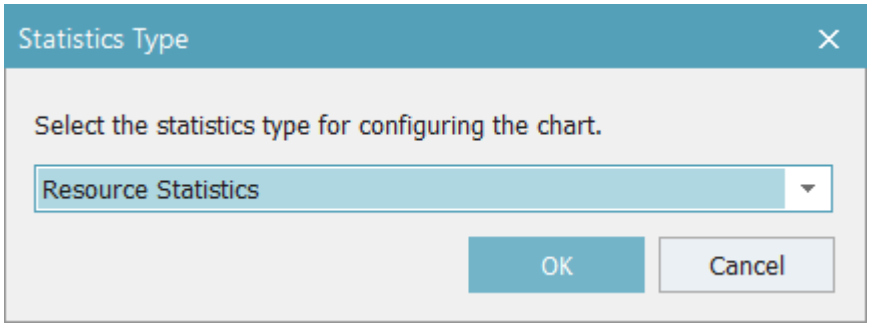


Рис. 4.25 Діалогове вікно після перетягнування об'єктів на діаграму

Вимкніть режим «*Planning View*» та запустіть симуляцію.

Як видно з діаграм, станції працюють увесь час, що неможливо (рис. 2.8). Відбувається це через те, що властивість станцій «Доступність» становить 100% на рис 4.26.

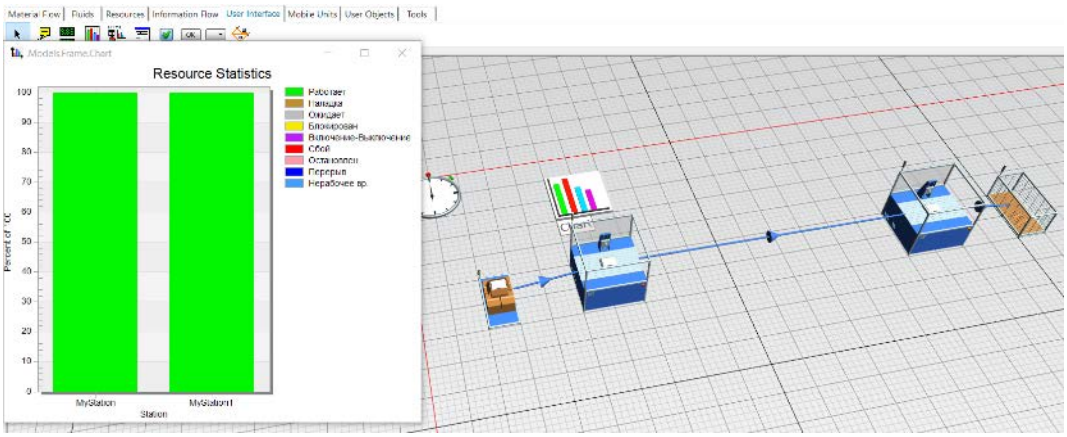


Рис. 4.26 Результати моделювання

Необхідно змінити доступність нашого об'єкту. Для цього треба двічі клацнути «*MyStation*» на панелі «*MaterialFlow*». Далі оберіть вкладку

«Failures», натисніть *«New»* та змініть значення доступності на 80%. Після цього натисніть «ОК» (рис. 4.27).

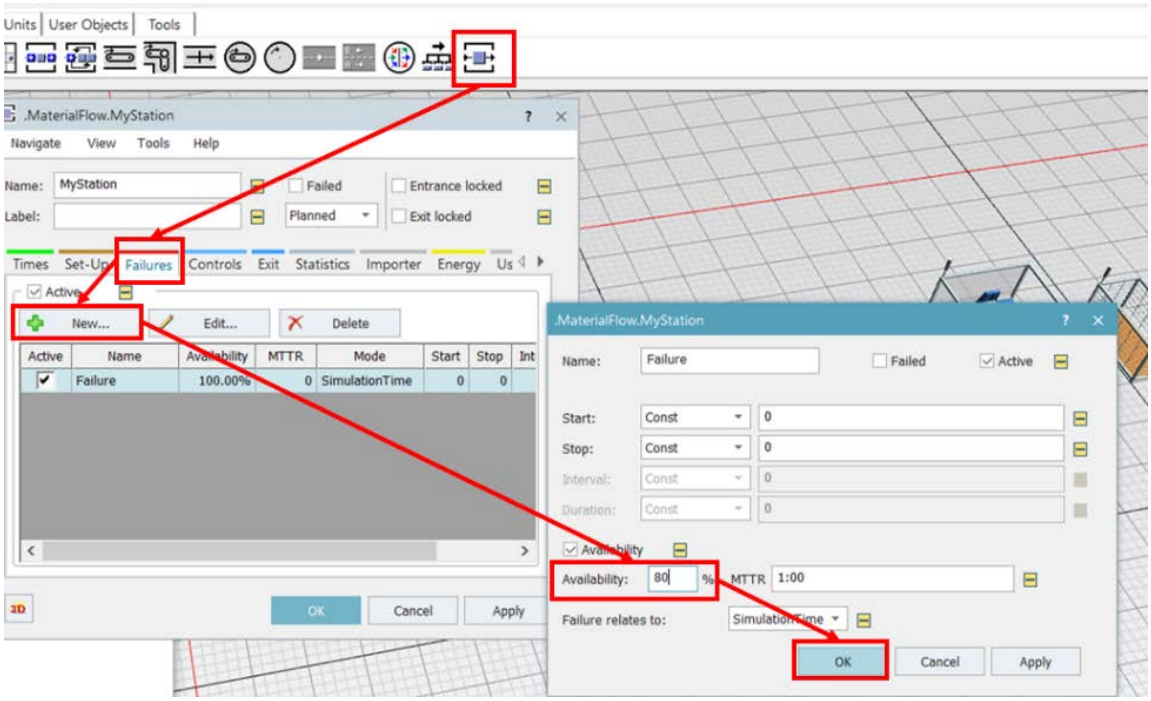


Рис. 4.27 Зміна властивості «Availability» об'єкту

Після цього властивості об'єктів *«MyStation»* та *«MyStation1»* автоматично змінилися.

Діаграма також змінюється (рис. 4.28).

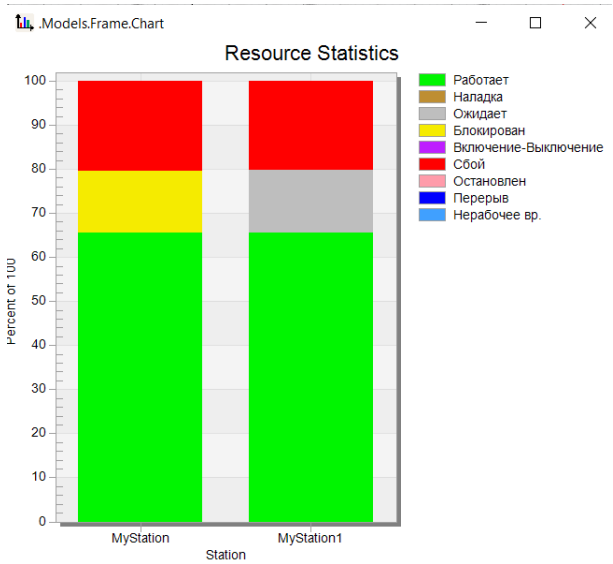


Рис. 4.28 Результуючі діаграми після зміни властивостей класу об'єктів

Результати все одно лишилися неуспішними, оскільки станції тривалий час або заблоковані, або перебувають в режимі очікування.

Двічі клацніть на об’єкт *«Drain»*, щоб відкрити діалогове вікно з властивостями цього об’єкту. У вкладці *«Type Statistics»* ввидно, що пропускна здатність становить 40 деталей на годину (рис. 4.29).

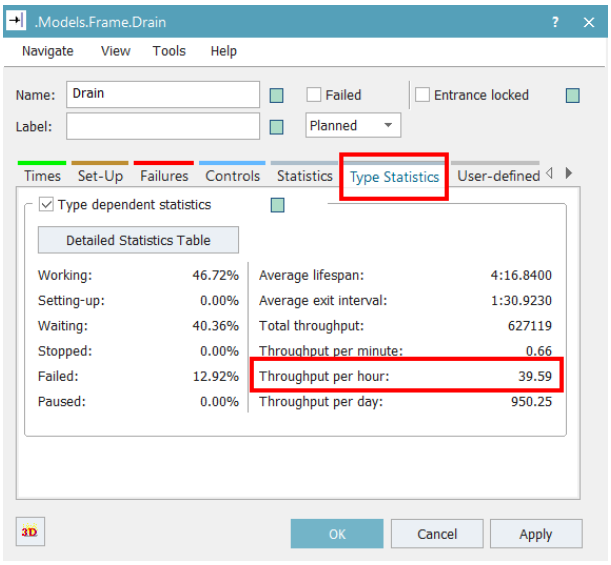


Рис. 4.29 Властивості об’єкту «Drain»

Для збільшення пропускної здатності об’єкту *«Drain»* між об’єктами *«MyStation»* та *«MyStation1»* необхідно вставити елемент *«Buffer»* (рис. 2.12).

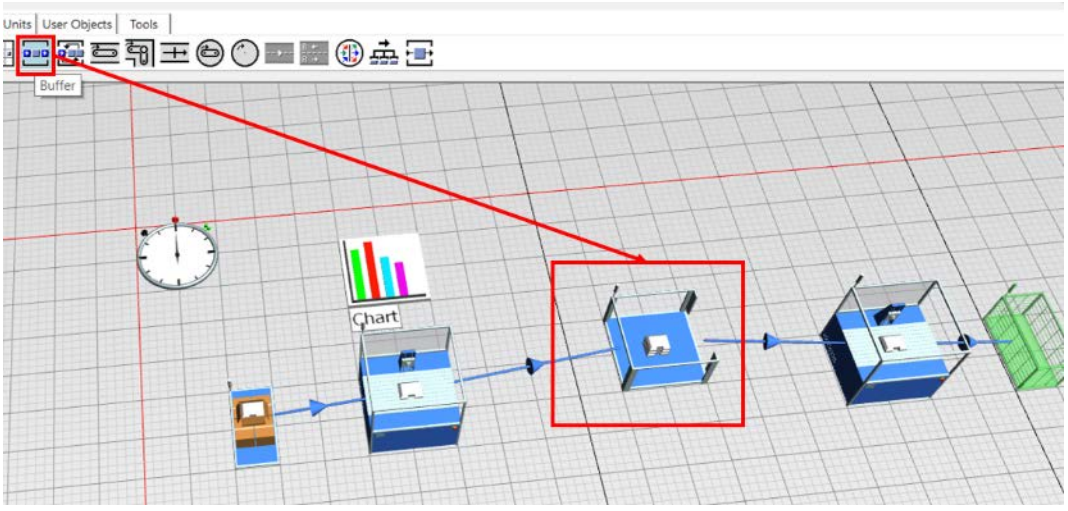


Рис. 4.30 Розміщення об’єкту «Buffer»

Об’єкт *«Buffer»* буде виконувати роль тимчасового складу між об’єктами *«MyStation»* та *«MyStation1»*.

Для зміни об’єму деталей, що можуть зберігатися на такому складі, потрібно двічі клацнути на об’єкт *«Buffer»* та змінити значення *«Capacity»* (рис. 4. 31). Встановіть значення, наприклад, «10».

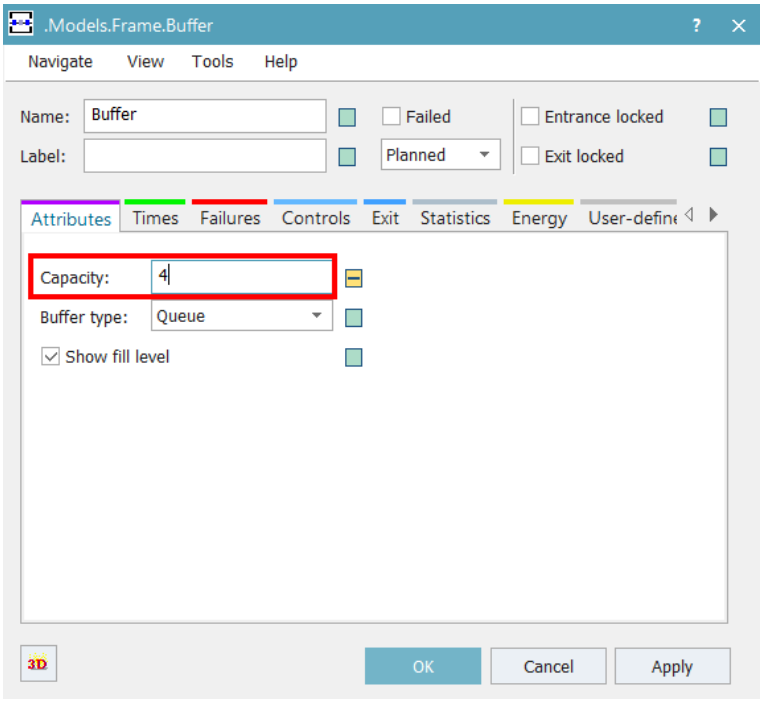


Рис. 4. 31 Редагування властивостей об'єкту «Buffer»

Як і у випадку зі станціями, створюємо діаграму, яка буде відображати результати роботи об'єкту *«Buffer»*.

При перетягуванні елементу *«Buffer»* на діаграму, з'являється діалогове вікно (рис. 4.32). Натисніть «ОК».

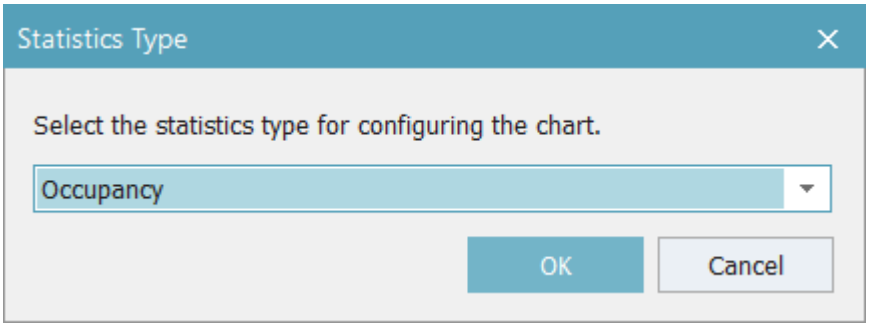


Рис. 4.32 Діалогове вікно, що з'являється після перетягування об'єкту «Buffer» на діграму

Запустіть моделювання спочатку та подивіться на результат. Додавання об'єкту *«Buffer»* збільшує пропускну здатність до 47 деталей на годину (рис.4.33).

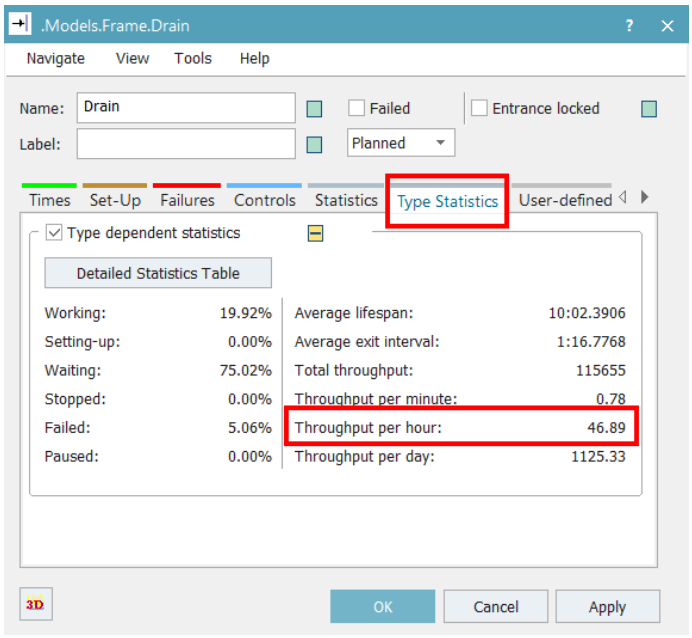


Рис. 4.34 Збільшення пропускної здатності об'єкту «Drain»

З діаграм можна помітити, що час очікування та час блокування станцій знизилися (рис. 4.35).

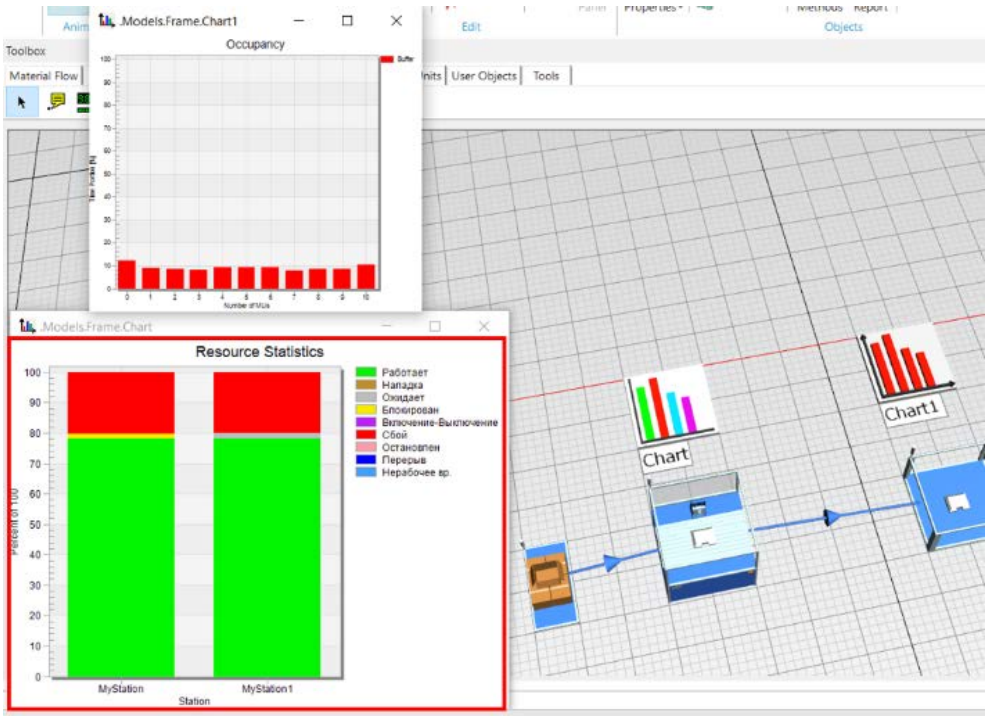


Рис. 4.35 Результати діаграм після кінцевого моделювання

Завдання

1. Змоделювати виробничу дільницю за допомогою програмного додатку *««Tecnomatix Plant Simulation»»*.

2. Оптимізувати роботу виробничої дільниці за рахунок зміни властивостей об’єктів.

Таблиця 4.2 Вихідні дані

Перша цифра	Кількість верстатів, шт.	Розміщення верстатів	Друга цифра	Відсоток доступності першого верстату, %	К-сть буферів, шт.	К-сть деталей у буферах, шт.
0	2	Послідовне	0	10	1	4
1	3	Послідовне	1	20	2	8
2	4	Паралельне	2	35	1	5
3	3	Послідовне	3	85	1	6
4	4	Паралельне	4	60	1	2
5	2	Послідовне	5	40	2	3
6	3	Послідовне	6	25	1	10
7	4	Паралельне	7	15	2	7
8	2	Послідовне	8	75	2	4
9	4	Паралельне	9	70	2	5

Зміст протоколу

В протоколі навести фізичну модель виробничої лінії, статистику ресурсів виробничого процесу, статистику типу, виробничий процес з буфером, діаграму використання буфера, відновлену статистику типу (у вигляді копії екрану). Висновки і пояснення. Додати файл імітаційної моделі виробничої лінії.

4.3 Методи розподілу завантаження між верстатами

Стратегія «*Exit*» необхідна для того, щоб розподіляти деталі для оброблення між верстатами в межах виробничої дільниці.

Для моделювання виробничої дільниці необхідно запустити програмний додаток «*Tecnomatix Plant Simulation*». Щоб створити нову модель, натисніть кнопку «*Create New Model*». Для виконання даної лабораторної роботи оберіть 3D-модель.

У робочій зоні необхідно розмістити наступні об’єкти (рис. 4.36):

1. *Source.*
2. *SingleProc.*
3. *Drain.*

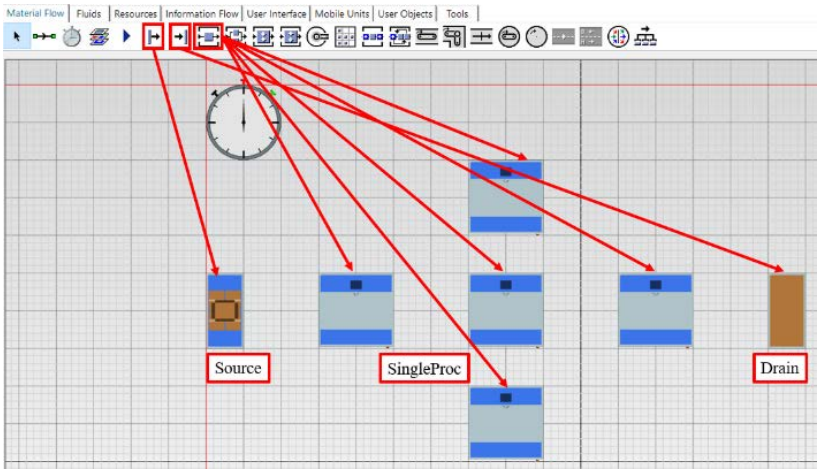


Рис. 4.36 Розміщення необхідних об’єктів у робочій зоні

Всі об’єкти з’єднуємо між собою за допомогою елемента «*Connector*». У результаті, отримуємо змодельовану виробничу дільницю (рис. 4.37).

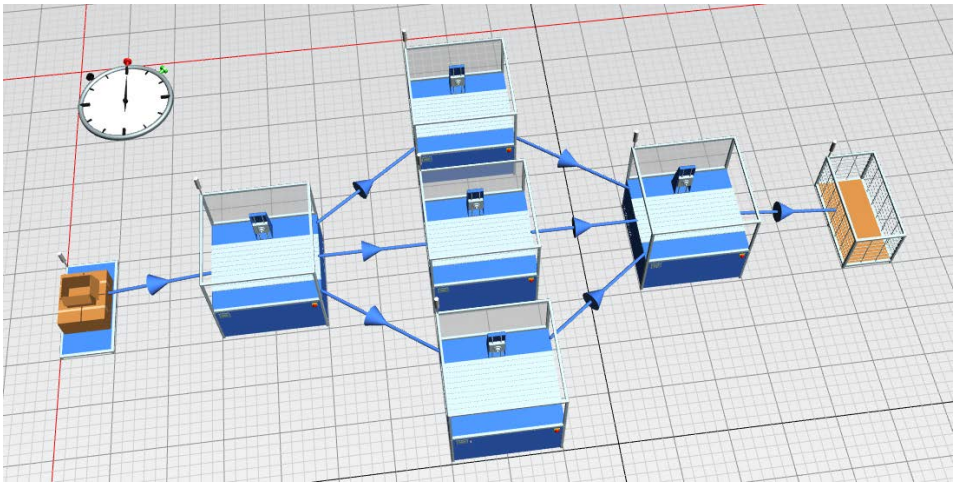


Рис. 4.37 Змодельована виробнича дільниця

Видно, що три об’єкти *«SingleProc»*, розташовані паралельно.

Для кращої наочності результатів збільшіть час оброблення однієї деталі на верстаті *«SingleProc1»*. Двічі натисніть лівою кнопкою миші по необхідному об’єкту, у вкладці «*Time*» встановіть час оброблення 4 хвилини (рис. 4.38).

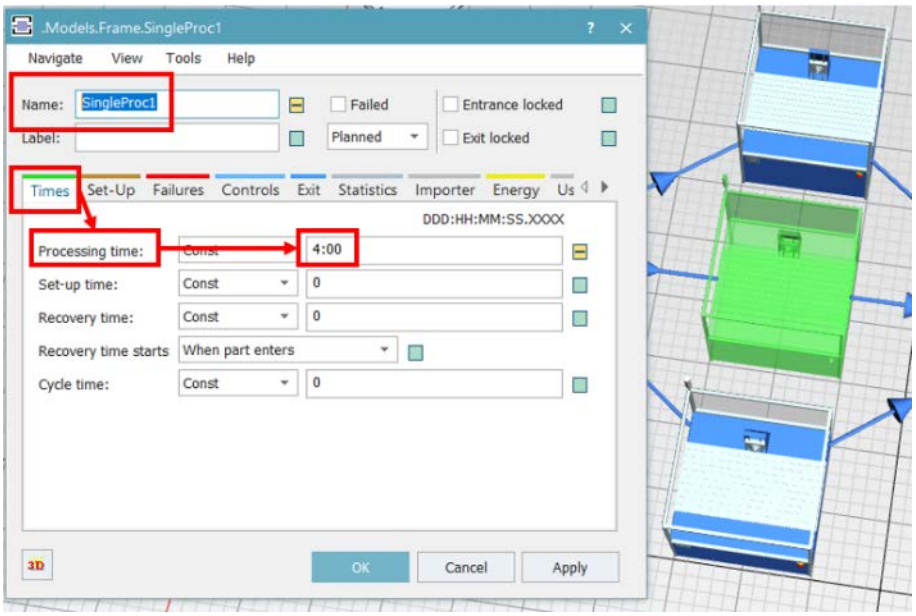


Рис. 4.39 Встановлення часу оброблення однієї деталі на верстаті

При паралельному розташуванні об’єктів завантаження на такі об’єкти розподіляється. Розподіл завантаження можна змінювати через редагування властивостей верстата *«SingleProc»*, який пов’язаний з об’єктами через елементи *«Connector»*. Для цього двічі натисніть лівою кнопкою миші на верстат, від якого йде розгалуження. У вкладці «*Exit*» оберіть стратегію «*Percentage*» (рис. 4.40). Застосуйте дані властивості.

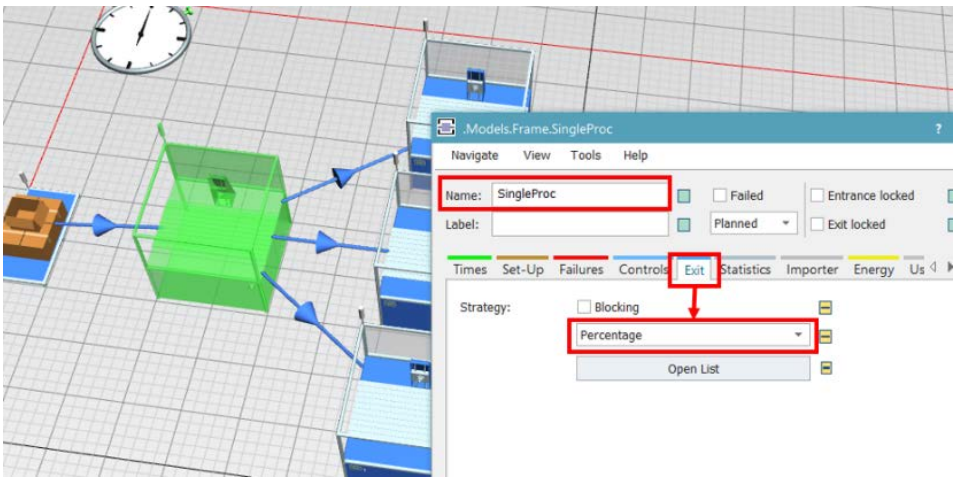


Рис. 4.40 Вибір стратегії Percentage для першого верстата

Після цього натисніть «*Open List*» для розподілення навантаження між об’єктами (рис. 4.41).

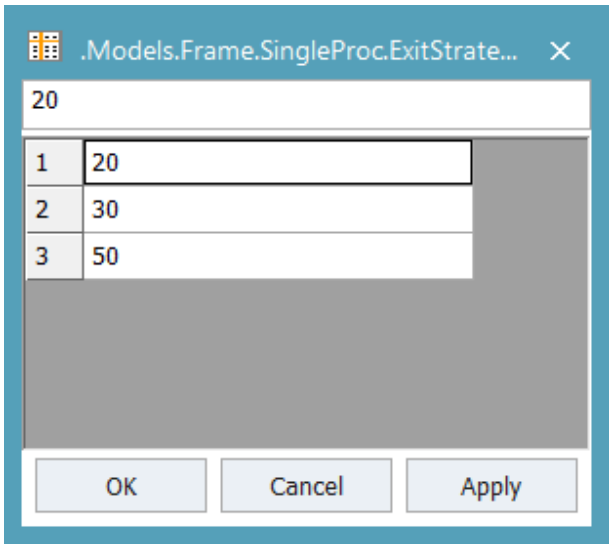


Рис. 4.41 Розподіл завантаження між об’єктами

Такий розподіл означає, що бажане завантаження наступне: 20% всіх деталей буде оброблятися на першому верстаті, 30% на другому та 50% на третьому.

Для реалізації розподілу деталей незалежно від того, які верстати вже готові приймати нову деталь для оброблення, навпроти функції «*Blocking*» потрібно поставити галочку (рис. 4.42).

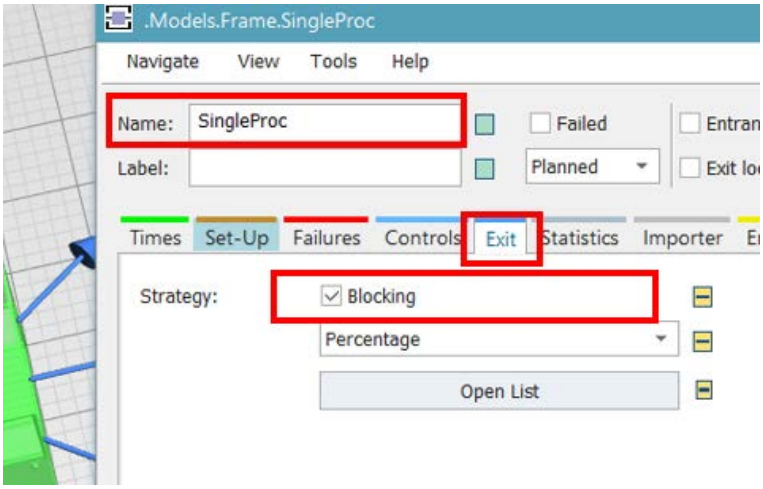


Рис. 4.42 Вибір опції Blocking

Необхідно з’ясувати, яким чином розподіляються деталі між верстатами. При наведенні курсора на елемент «*Connector*» з’являється підказка, яка вказує на послідовність транспортування деталей (рис. 4.43).

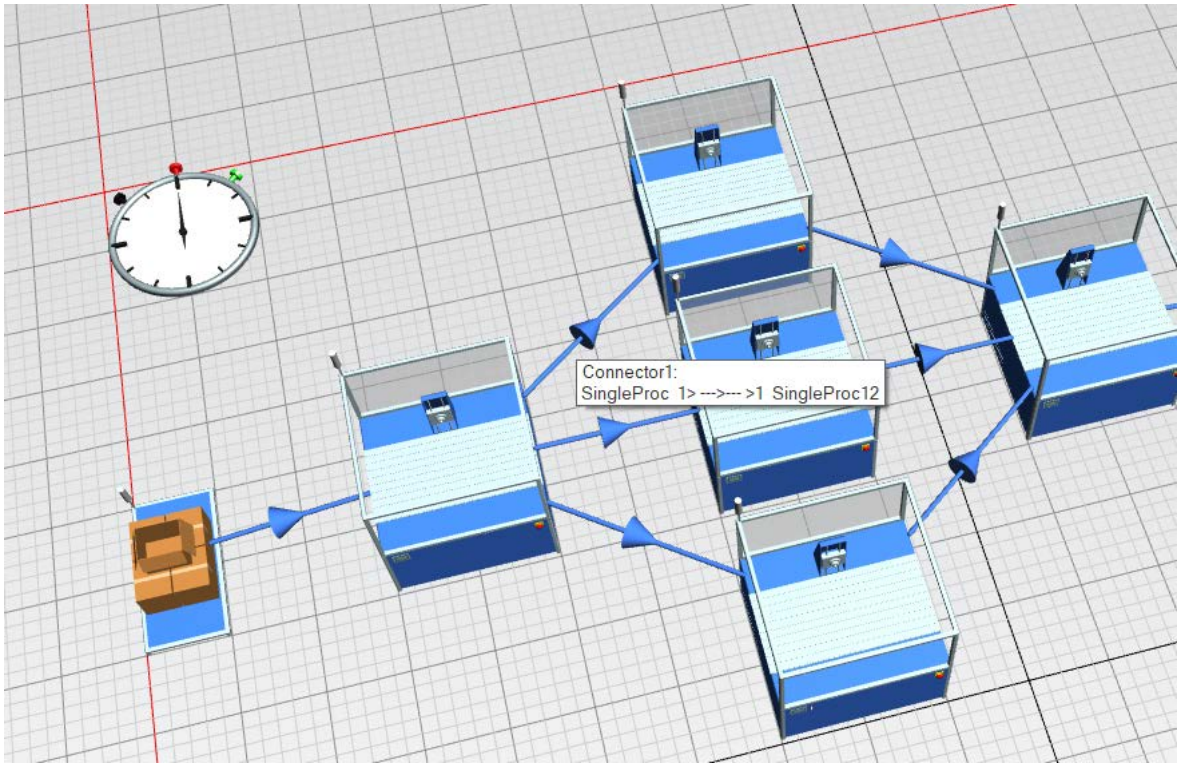


Рис. 4.43 Підказка, що з'являється при наведенні курсора на елемент «Connector»

Щоб перевірити відсоткове співвідношення завантаження верстатів, натисніть двічі на об'єкт «*Source*», серед варіантів «*Time of Creation*» оберіть «*Number Adjustable*» та встановіть кількість 1000 деталей (рис. 4.45).

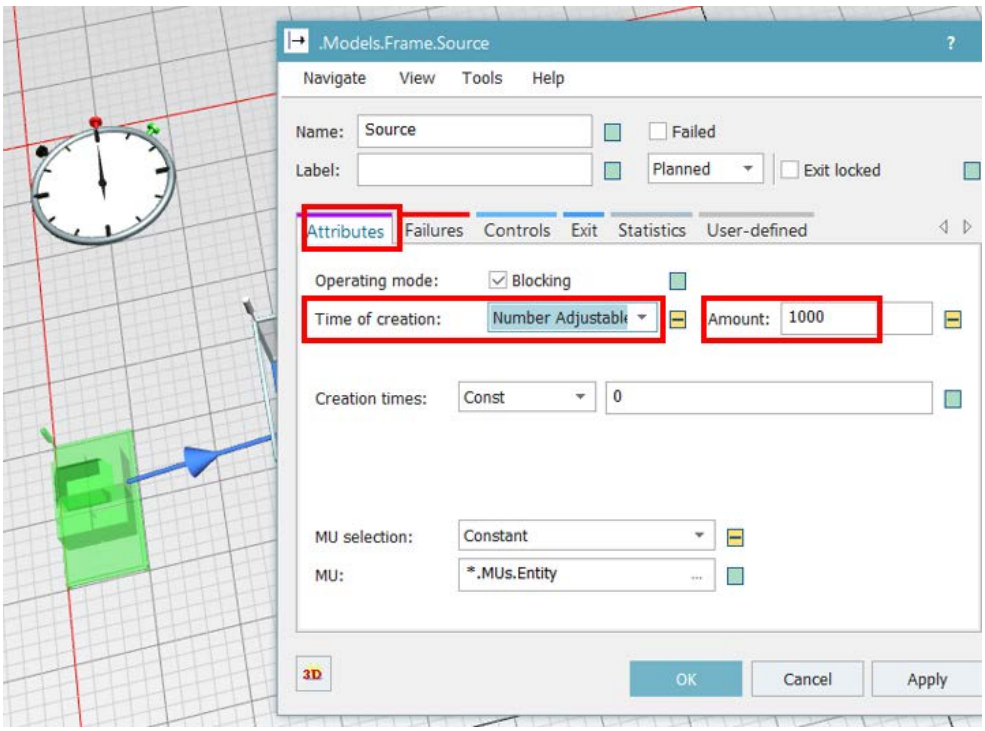


Рис. 4.45 Налаштування властивостей об'єкта «Source»

Тепер можете запустити симуляцію. Для того, щоб переглянути результати, виділіть паралельно розташовані об’єкти та елементи «*Connector*», які пов’язують три верстати з найпершим (рис. 4.46). Потім натисніть «*F6*» або «*Fn+F6*».

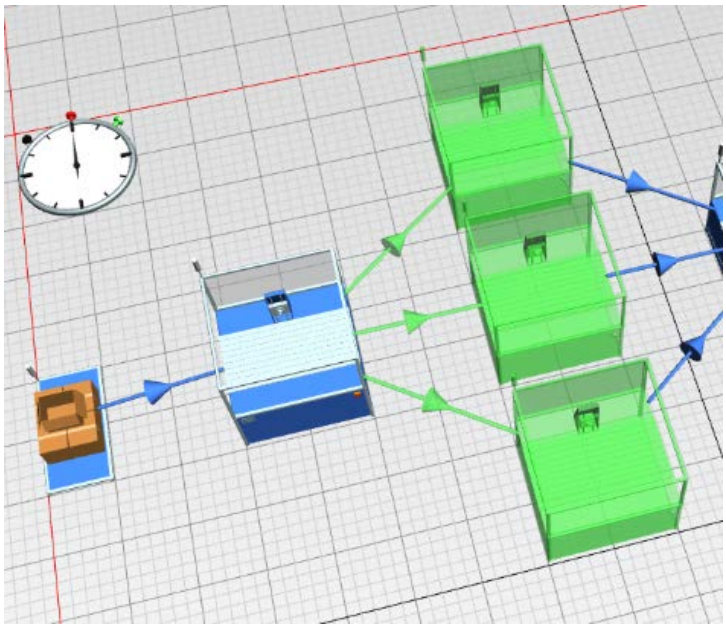
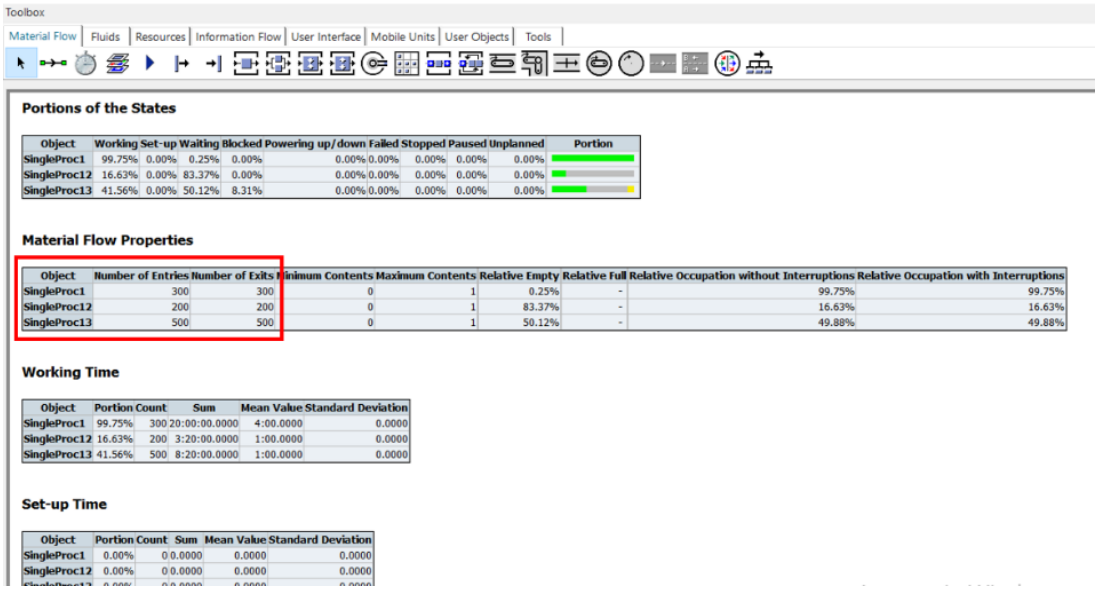


Рис. 4.46 Вибір необхідних об’єктів для формування звіту

Після цього з’явиться вкладка зі звітом статистичних даних (4.47).



Toolbox

Material Flow | Fluids | Resources | Information Flow | User Interface | Mobile Units | User Objects | Tools

Portions of the States

Object	Working	Set-up	Waiting	Blocked	Powering up/down	Failed	Stopped	Paused	Unplanned	Portion
SingleProc1	99.75%	0.00%	0.25%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
SingleProc12	16.63%	0.00%	83.37%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
SingleProc13	41.56%	0.00%	50.12%	8.31%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	

Material Flow Properties

Object	Number of Entries	Number of Exits	Minimum Contents	Maximum Contents	Relative Empty	Relative Full	Relative Occupation without Interruptions	Relative Occupation with Interruptions
SingleProc1	300	300	0	1	0.25%	-	99.75%	99.75%
SingleProc12	200	200	0	1	83.37%	-	16.63%	16.63%
SingleProc13	500	500	0	1	50.12%	-	49.88%	49.88%

Working Time

Object	Portion	Count	Sum	Mean Value	Standard Deviation
SingleProc1	99.75%	300	20:00:00.0000	4:00.0000	0.0000
SingleProc12	16.63%	200	3:20:00.0000	1:00.0000	0.0000
SingleProc13	41.56%	500	8:20:00.0000	1:00.0000	0.0000

Set-up Time

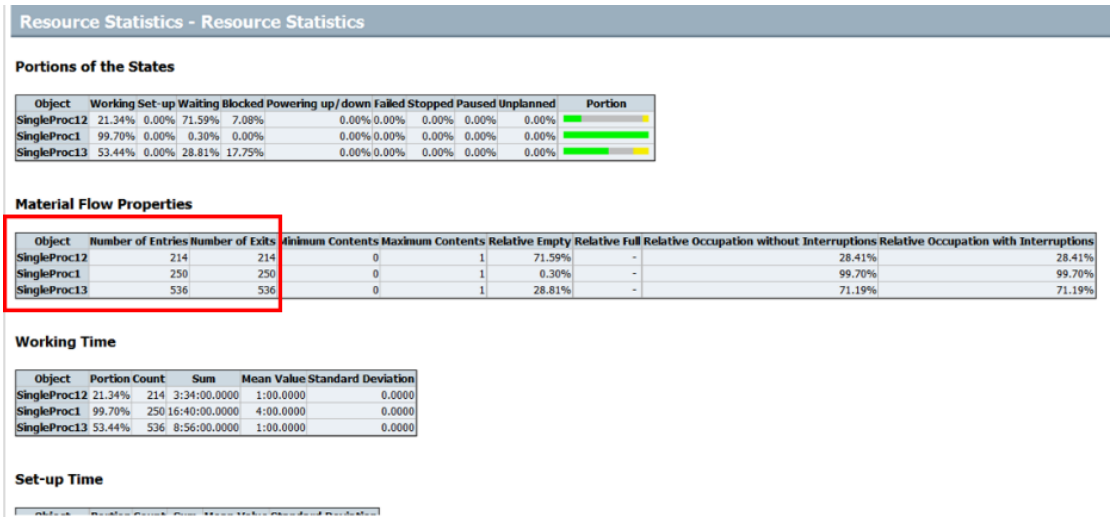
Object	Portion	Count	Sum	Mean Value	Standard Deviation
SingleProc1	0.00%	0	0.0000	0.0000	0.0000
SingleProc12	0.00%	0	0.0000	0.0000	0.0000

Рис. 4.48 Звіт статистичних даних

Як можна бачити зі звіту, з 1000 деталей на першому верстаті обробляється 200 штук (20%), на другому – 300 (30%) і на третьому – 500 деталей (50%). Статистичні задовольняють вихідним.

Також подивимося на результати звіту без обрання функції «*Blocking*»

(рис. 4.49).



Resource Statistics - Resource Statistics

Portions of the States

Object	Working	Set-up	Waiting	Blocked	Powering up/down	Failed	Stopped	Paused	Unplanned	Portion
SingleProc12	21.34%	0.00%	71.59%	7.08%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
SingleProc1	99.70%	0.00%	0.30%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
SingleProc13	53.44%	0.00%	28.81%	17.75%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	

Material Flow Properties

Object	Number of Entries	Number of Exits	Minimum Contents	Maximum Contents	Relative Empty	Relative Full	Relative Occupation without Interruptions	Relative Occupation with Interruptions
SingleProc12	214	214	0	1	71.59%	-	28.41%	28.41%
SingleProc1	250	250	0	1	0.30%	-	99.70%	99.70%
SingleProc13	536	536	0	1	28.81%	-	71.19%	71.19%

Working Time

Object	Portion Count	Sum	Mean Value	Standard Deviation
SingleProc12	21.34%	214	3:34:00.0000	1:00.0000	0.0000
SingleProc1	99.70%	250	16:40:00.0000	4:00.0000	0.0000
SingleProc13	53.44%	536	8:56:00.0000	1:00.0000	0.0000

Set-up Time

Рис. 4.49 Звіт статистичних даних після вимкнення функції Blocking

Результати змінилися, оскільки другий верстат витрачає більше часу на оброблення, аніж інші два.

Отже, вимкнення функції «*Blocking*» реалізує такий розподіл завантаження між паралельно розташованими об’єктами, при якому деталь приймає той верстат, який знаходиться в режимі очікування. Тобто завантаженість верстату залежить від часу оброблення однієї деталі.

Завдання

1. Вивчити методику роботи зі стратегією *Exit* у програмному додатку *«Tecnomatix Plant Simulation»*.

2. Оптимізувати роботу виробничої дільниці за рахунок розподілу завантаження між верстатами.

Таблиця 4.3 Вихідні дані

Перша цифра	Кількість верстатів, шт.	Розміщення верстатів	Друга цифра	Відсоток доступності першого верстату, %	К-сть буферів, шт.	К-сть деталей у буферах, шт.
0	2	Послідовне	0	10	1	4
1	3	Послідовне	1	20	2	8
2	4	Паралельне	2	35	1	5
3	3	Послідовне	3	85	1	6
4	4	Паралельне	4	60	1	2
5	2	Послідовне	5	40	2	3
6	3	Послідовне	6	25	1	10
7	4	Паралельне	7	15	2	7
8	2	Послідовне	8	75	2	4
9	4	Паралельне	9	70	2	5

Зміст протоколу

В протоколі навести фізичну модель виробничої лінії, статистику ресурсів виробничого процесу з блокуванням, статистику ресурсів виробничого процесу без блокування, (у вигляді копії екрану). Висновки і пояснення. Додати файл імітаційної моделі виробничої лінії.

4.4 Створення власної стратегії розподілення деталей

4.4.1 Підготовка імітаційної моделі

Після запуску програмного додатку необхідно створити нову модель за допомогою команди *“Create New Model”* (рис. 4.50). В наступному діалоговому вікні необхідно обрати тип моделі: двовимірна (2D) або тривимірна (3D). Обираємо 3D модель.

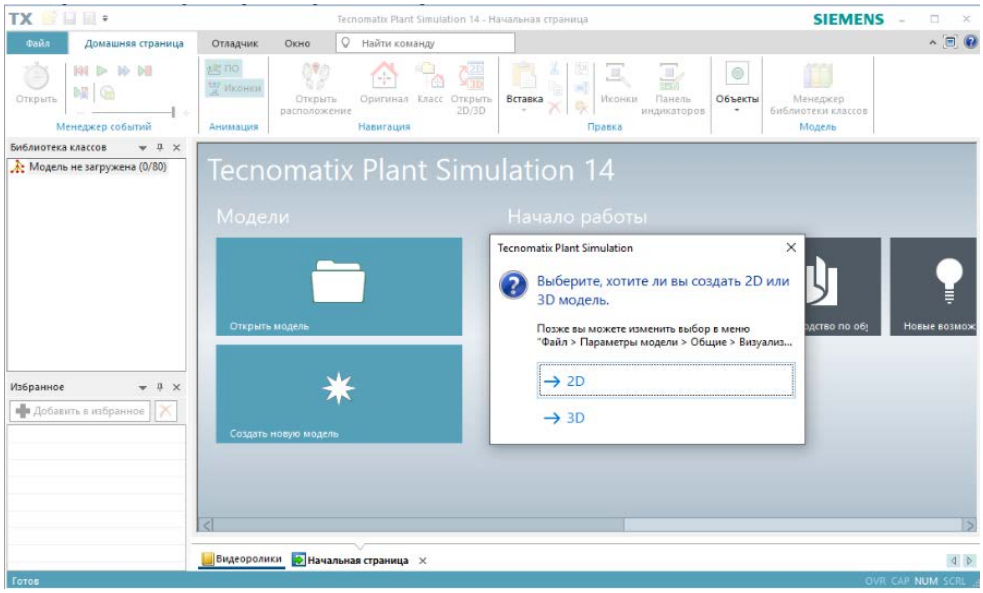


Рис. 4.50 Створення нової моделі

При проектуванні зручно використовувати режим перегляду *“Вид в плані”* (рис. 4.51), для цього необхідно обрати вкладку *“Вид”* → *“Вид в плані”*.

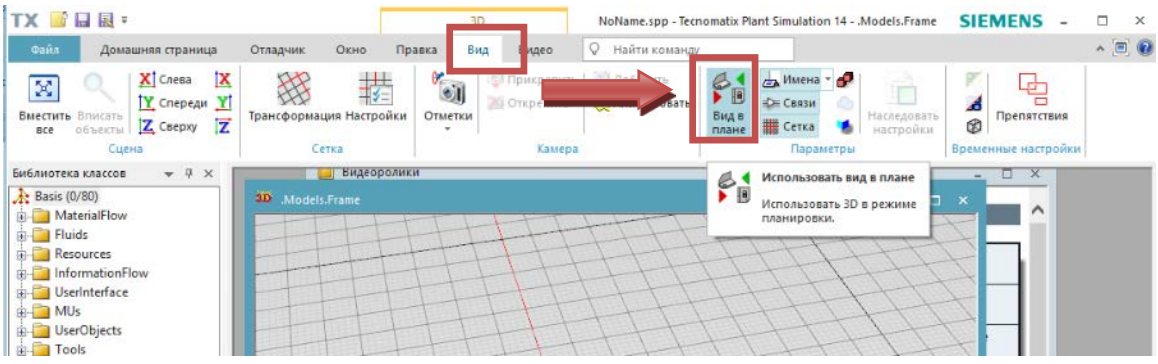


Рис. 4.51 Вибір режиму перегляду

Насамперед необхідно створити джерело постачання заготовок, використовуючи об’єкт *“Source”*. Для розміщення об’єкту*“Source”* користуємося панеллю об’єктів *“Toolbox”* (рис. 4.52).

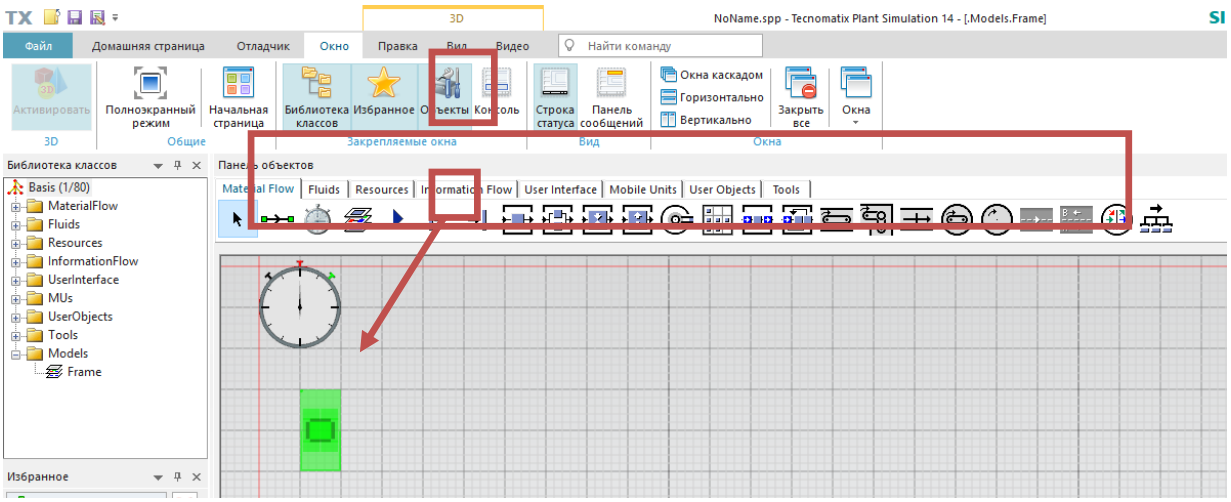


Рис. 4.52 Розміщення об'єкта "Source"

Тепер необхідно розмістити верстатне обладнання у кількості 5-х штук. Для цього в панелі об'єктів обираємо "*SingleProc*" (рис. 4.53). "*SingleProc*" – це узагальнений об'єкт, який може представляти робочу станцію або верстат, на якому витрачається певна кількість часу для обробки деталі.

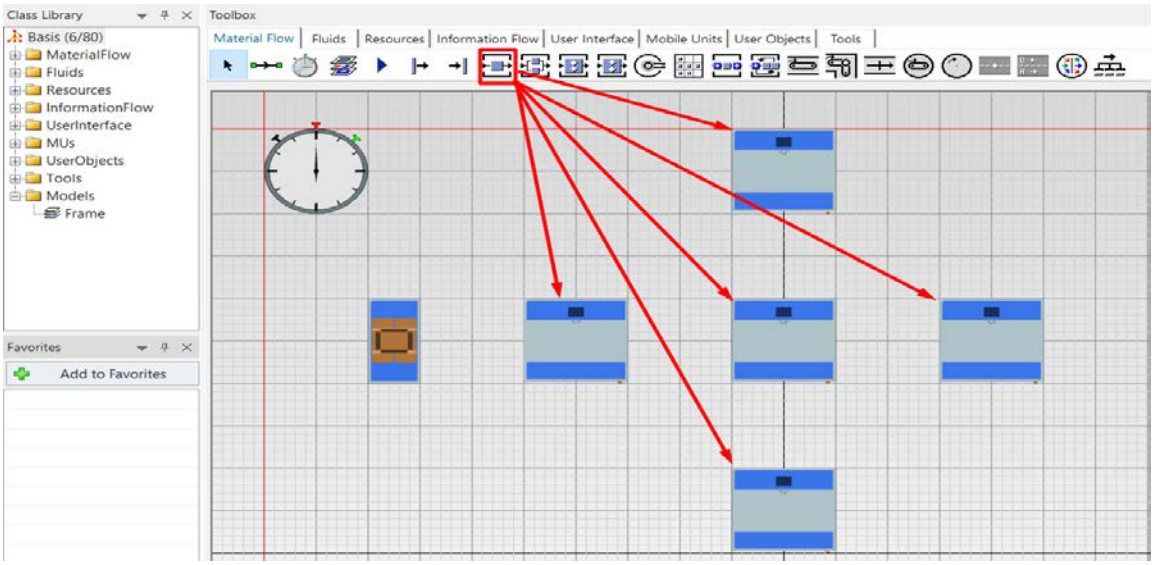


Рис. 4.53 Розміщення об'єктів "SingleProc"

Останній необхідний об'єкт – це сховище "*Drain*". "*Drain*" необхідний для розміщення готових деталей. На підприємстві, це може бути, наприклад, склад готової продукції, відділ відвантаження (рис. 4.54).

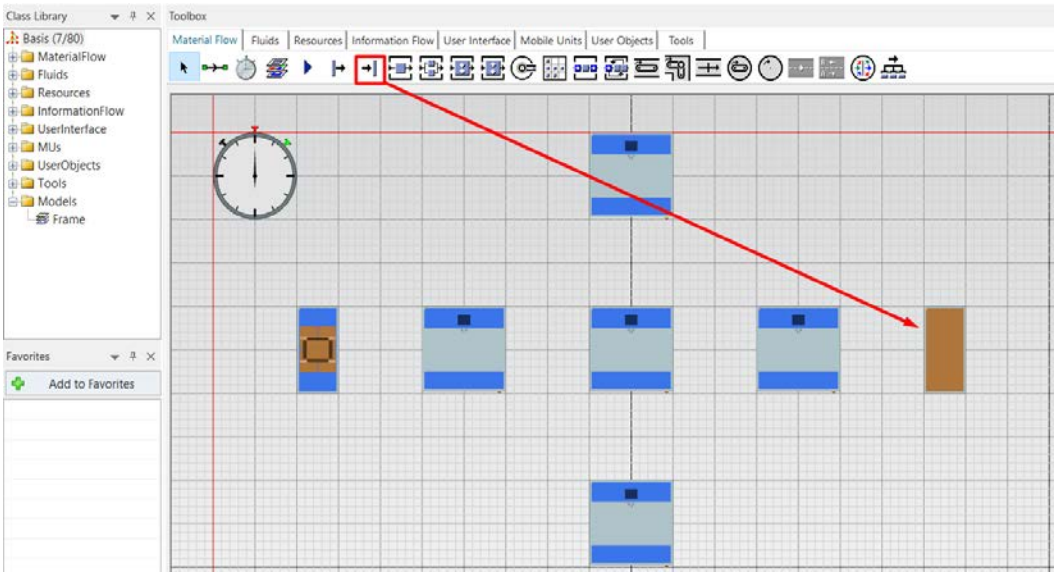


Рис. 4.54 Розміщення об'єкта "Drain"

Розміщені об'єкти необхідно з'єднати за допомогою об'єкту "*Connector*" (рис.4.56). Об'єкт типу "*Connector*" визначає переміщення деталей між дільницями виробничої лінії.

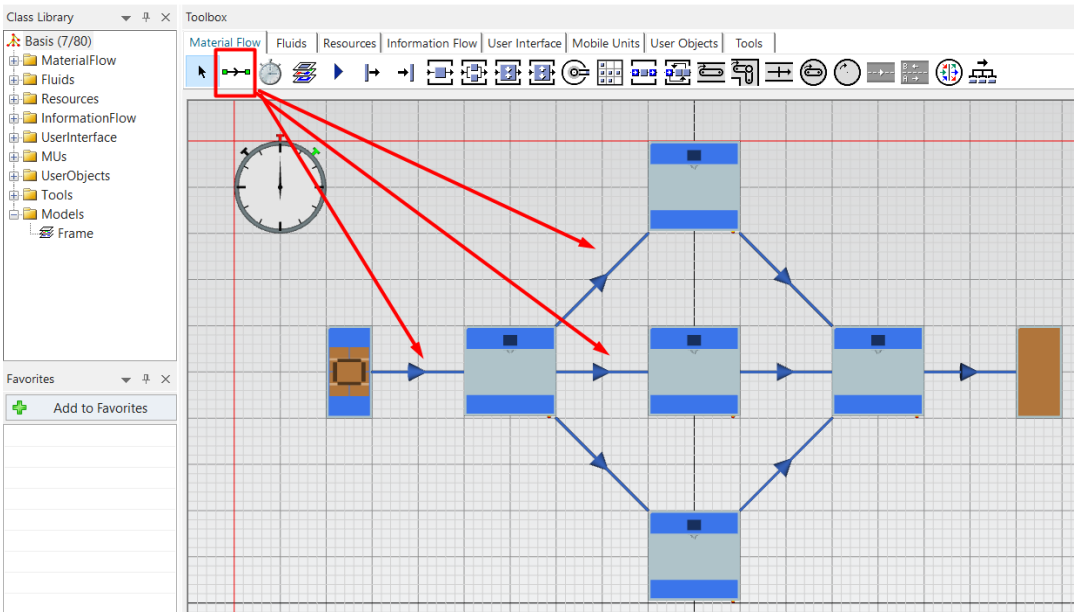


Рис. 4.56 З'єднання об'єктів за допомогою об'єкту "Connector"

Для кращого орієнтування між дільницями, перейменовуємо назву кожної дільниці з "*SingleProc*" на "*Station*", додатково нумеруючи з 1 по 5 позицію. Для цього виділяємо необхідну дільницю та натискаємо клавішу "*F2*" (рис. 4.57).

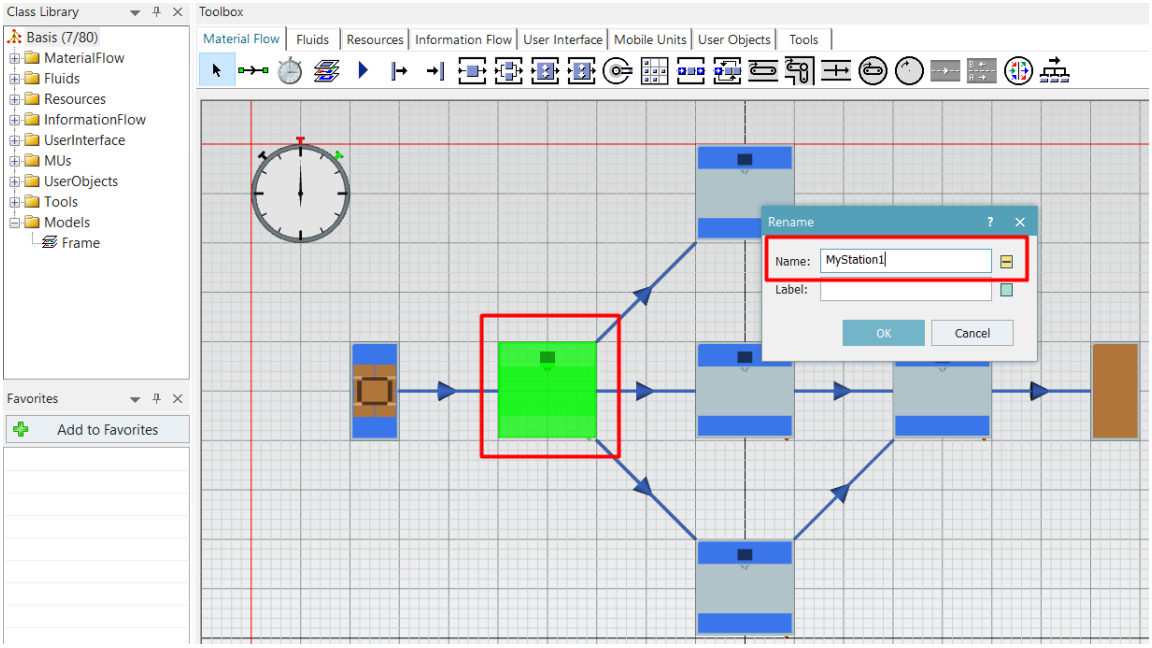


Рис. 4.57. Перейменування дільниць виробничої лінії

Далі налаштовуємо відображення назви дільниці використовуючи команду *“Edit 3D Properties”*, для виклику якої наводимо курсор на об’єкт *“SingleProc”* у панелі об’єктів *“Toolbox”* та натискаємо праву кнопку миші (рис. 4.58).

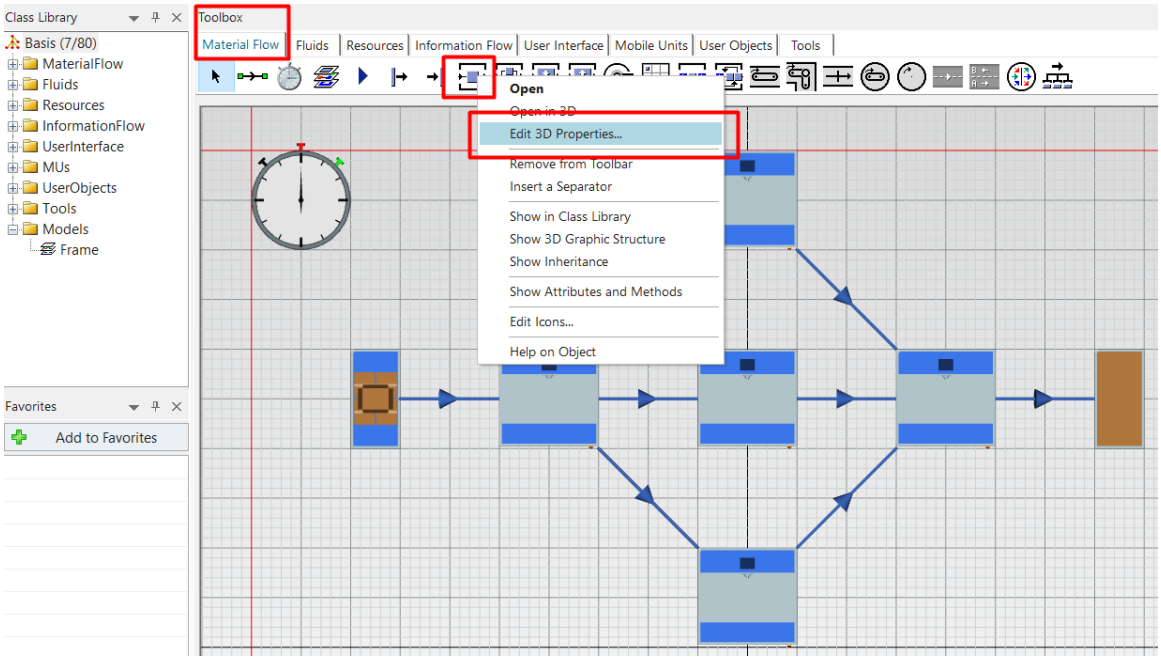


Рис. 4.58 Налаштування відображення назви дільниць

У діалоговому вікні, що відкрилося обираємо вкладку *“Captions”* та ставимо відмітку навпроти команди *“Name/label enabled”* (рис. 4.59).

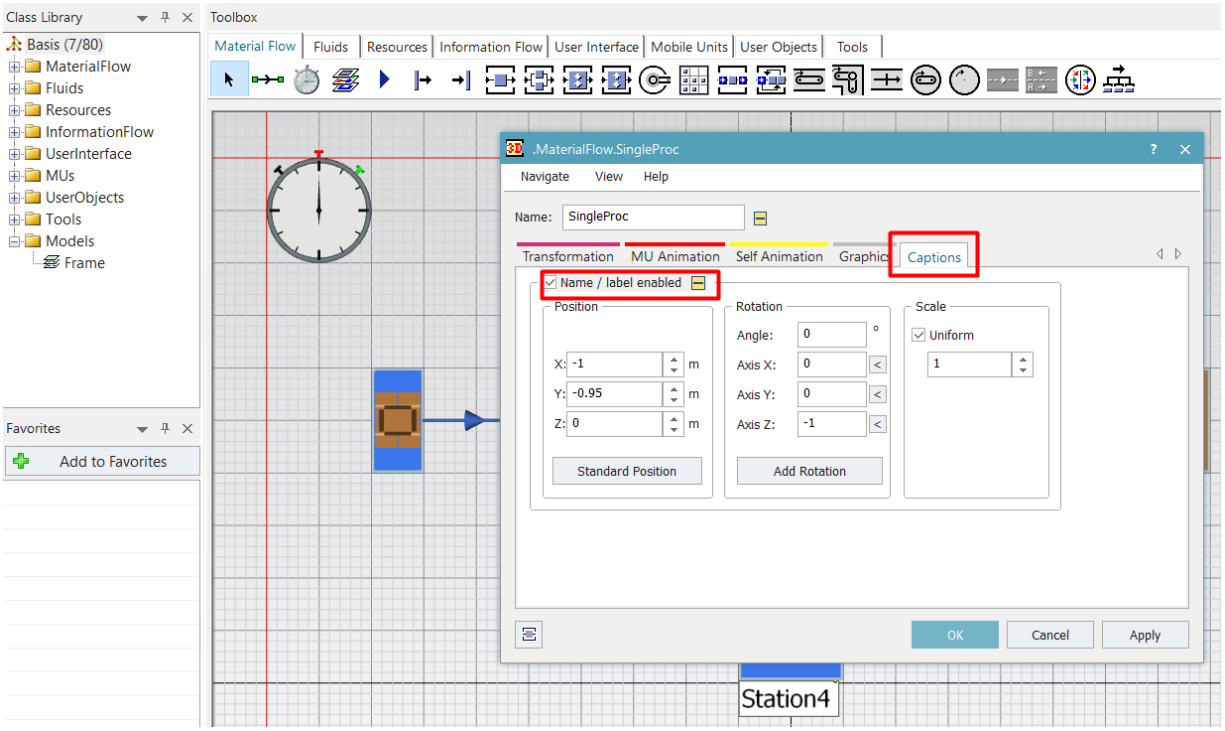


Рис. 4.59 Налаштування відображення назви дільниць

Задаємо ємність об’єкту “*Source*”, двічі натиснувши на нього лівою клавішею миші. У вкладці *“Attributes”* встановлюємо ємність у 1000 одиниць (рис. 4.60).

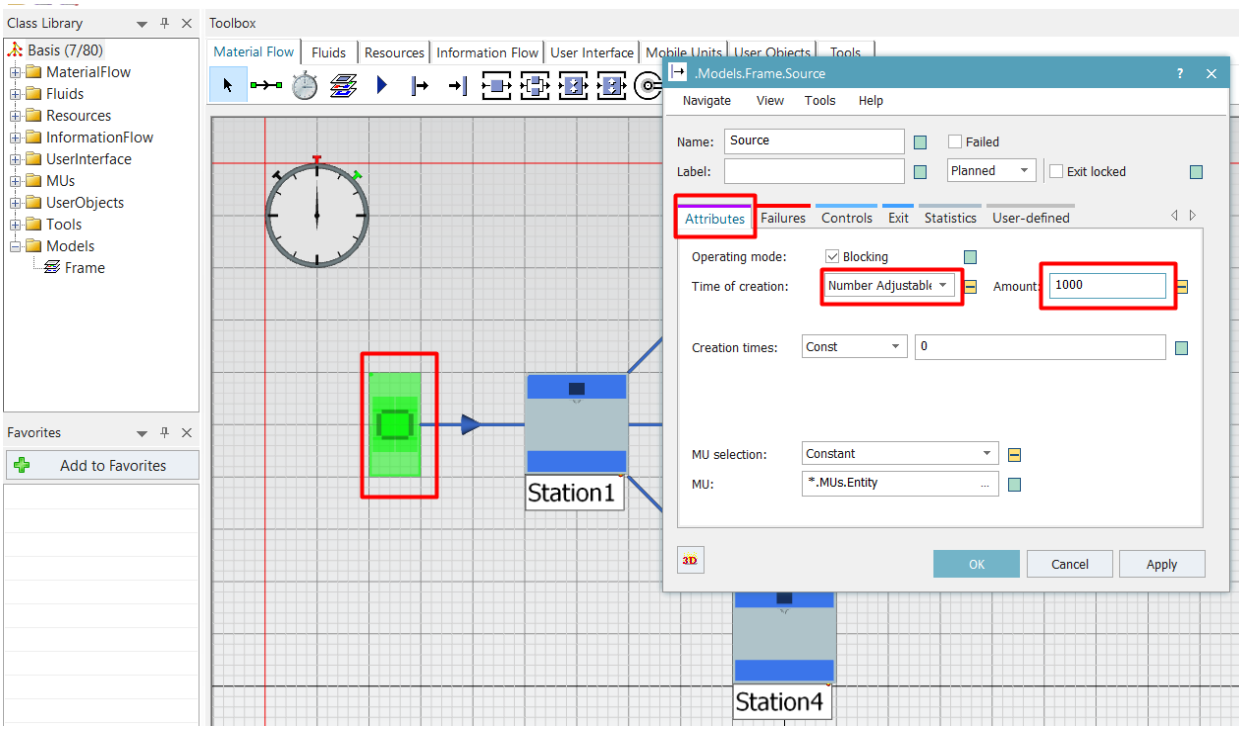


Рис. 4.60 Налаштування ємності об’єкту “Source”

4.4.2 Імітація виробничого процесу

Для запуску імітації виробничого процесу переходимо в 3D режим, для цього на вкладці “Вид” дезактивуємо параметр відображення “Вид в плані” (рис. 4.61). Управління імітацією відбувається на вкладці *“Event Controller”*.

Перед запуском імітації необхідно натиснути кнопку «*Reset Simulation*», а потім кнопку «*Start/Stop Simulation*». Через декілька секунд зупиняємо процес повторним натисканням кнопки «*Start/Stop Simulation*».

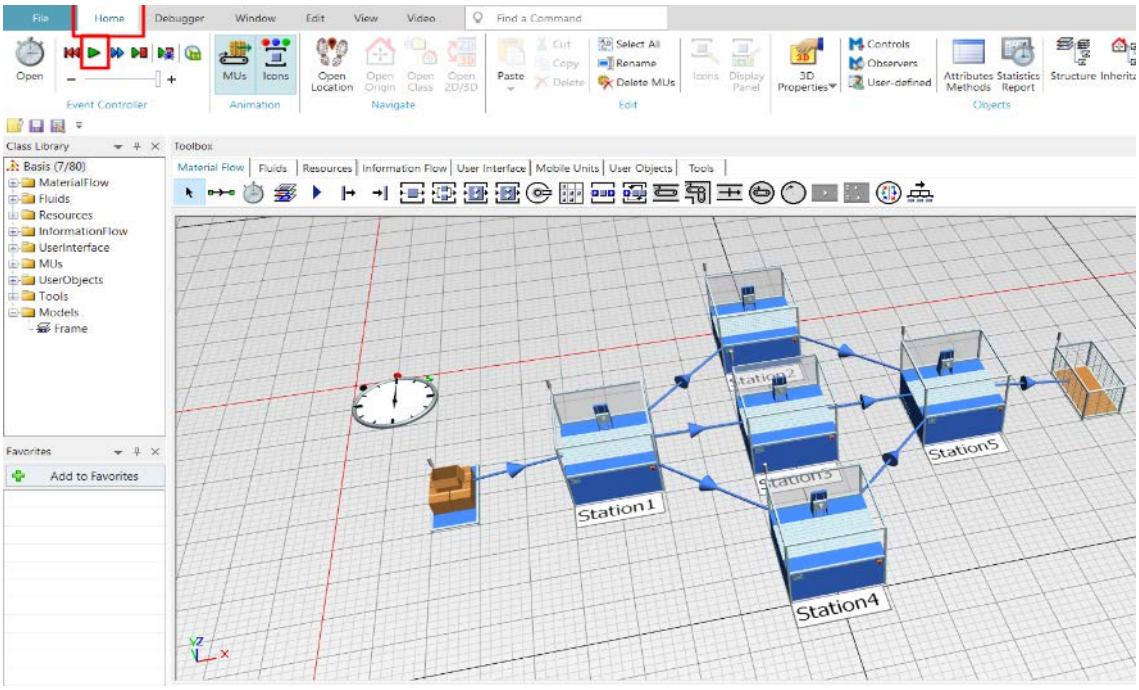


Рис. 4.61 Імітація виробничого процесу

4.4.3. Аналіз результатів імітації та корекція моделі

Для ознайомлення з результатами виробничого процесу очікуємо закінчення імітації, виділяємо об’єкти *“Station”* з 2-го по 4-й та натискаємо клавішу *“F6”*. У вікні, що відкрилося, знаходимо таблицю під назвою “*Material Flow Properties”* (рис. 4.62).

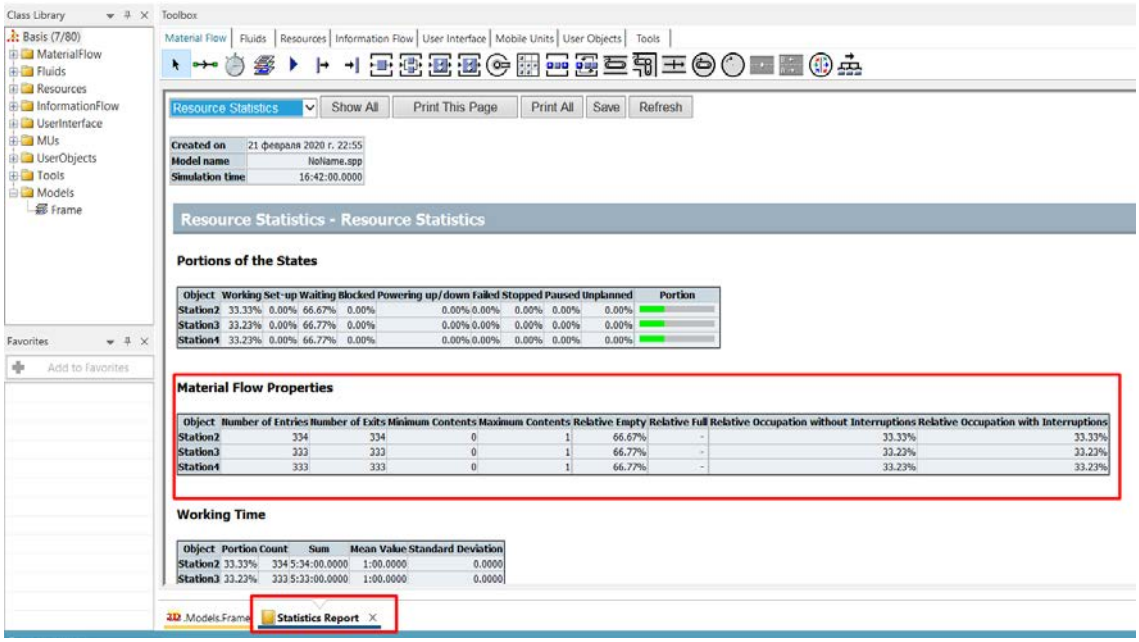


Рис. 4.62 Аналіз результатів імітації

Для розроблення власної стратегії розподілу деталей між дільницями додаємо об'єкт *"Method"*, розташований на вкладці *"Information Flow"* у панелі об'єктів *"Toolbox"* (рис. 4.63).

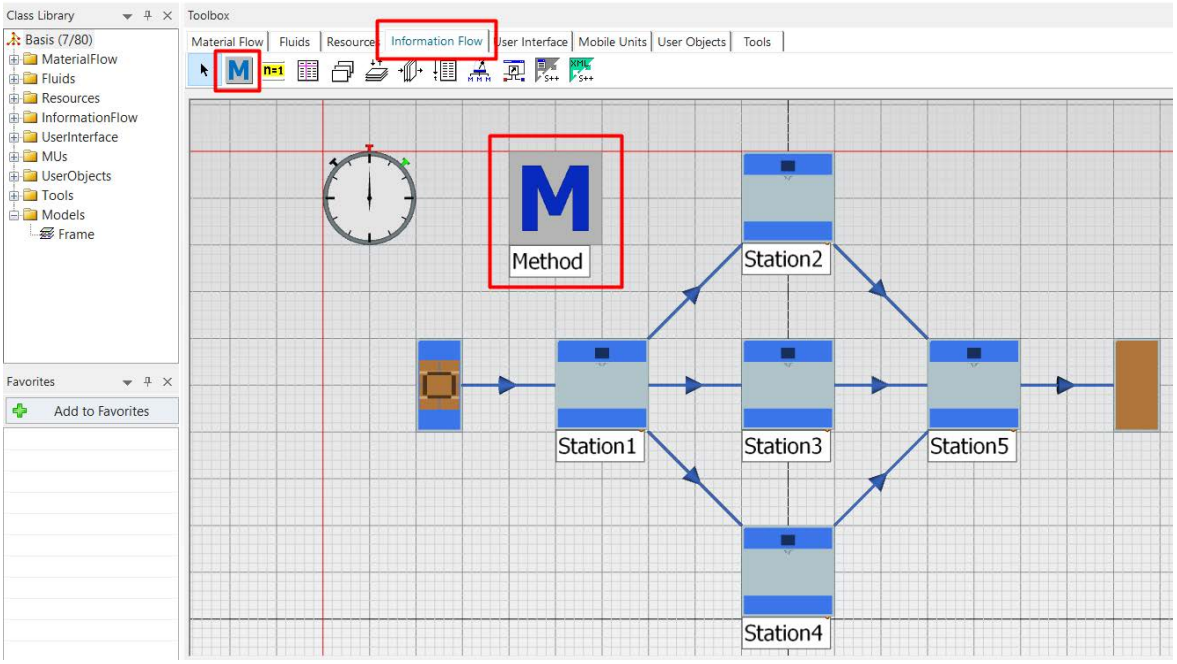


Рис.4.63 Розміщення об'єкту "Method"

Перейменовуємо об'єкт*"Method"*, виділивши його та натиснувши клавішу *"F2"* на *"MyExitControl"* (рис. 4.64).

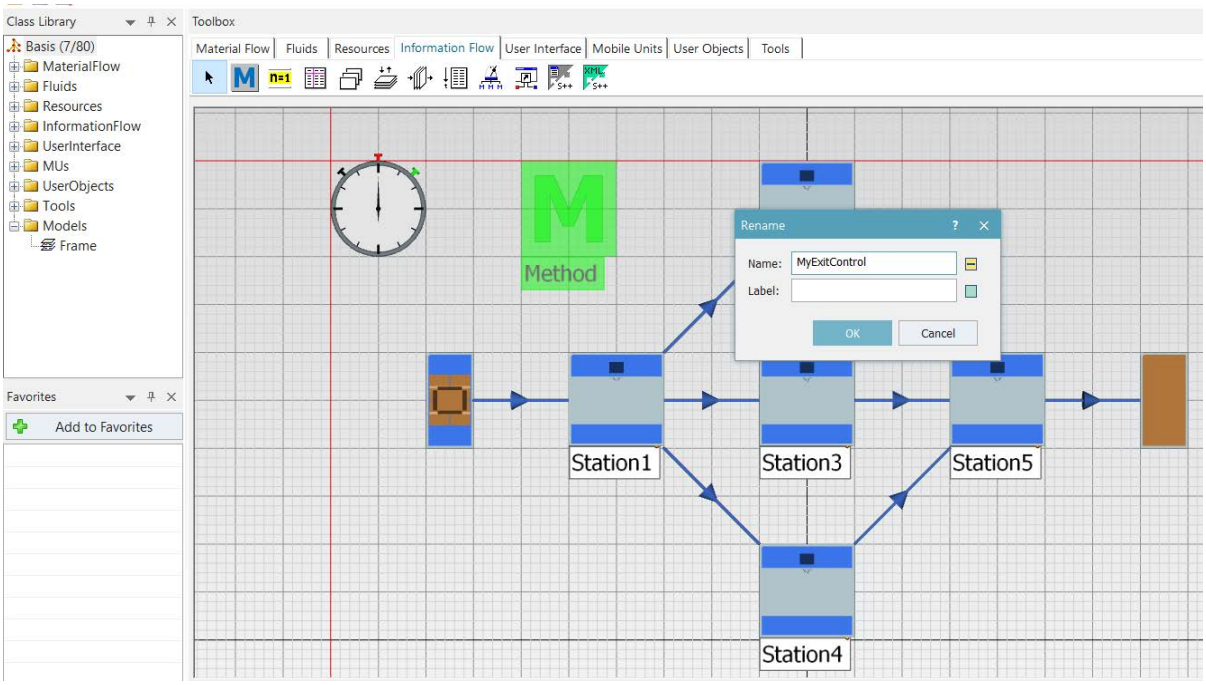


Рис.4.64 Перейменування об'єкту "Method"

Далі виділяємо об'єкт *"Method"* та перетягуємо його на дільницю*"Station1"* (рис. 4.65).

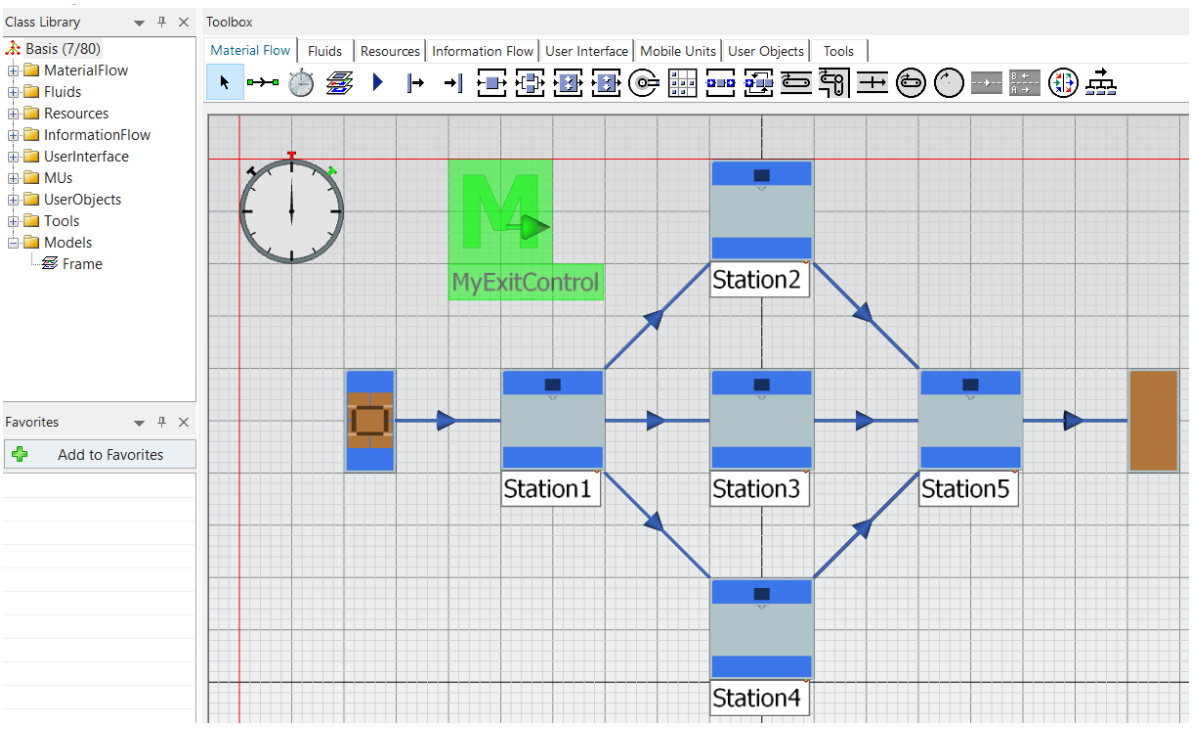


Рис. 4.65 Створення функціонально зв'язку між об'єктами

Подвійним кліком на об'єкт *"Method"* активуємо діалогове вікно. Потім використовуючи команду *"Control Structure"* на вкладці *"Templates"* з відкритого списку операторів обираємо *"if…elseif…end"* та записуємо наступні строки коду, та натискаємо *"Apply Changes"*(рис.4.67):

```
var n : integer := Station1.statNumIn
if n <= 100
@.move(Station2)
elseif n <= 300
@.move(Station3)
else
 @.move(Station4)
end
```

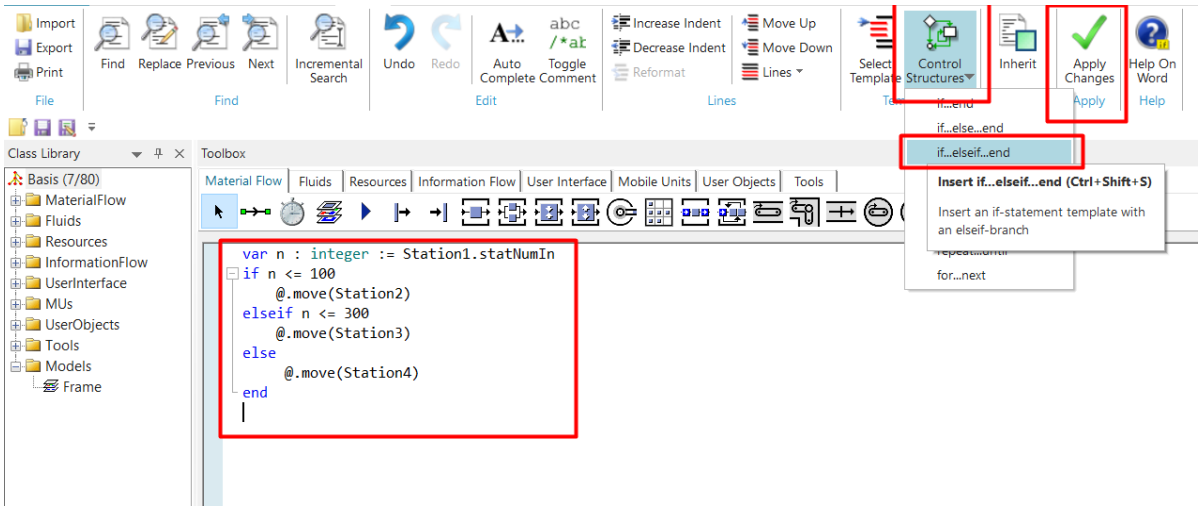


Рис. 4.67 Програмування стратегії розподілення

Знову запускаємо імітацію виробничого процесу та чекаємо закінчення процесу. Виділяємо об'єкти *"Station"* з 2-го по 4-й та натискаємо клавішу *"F6"*. У вікні, що відкрилося знаходимо таблицю під назвою *"Material Flow Properties"*(рис. 4.68).

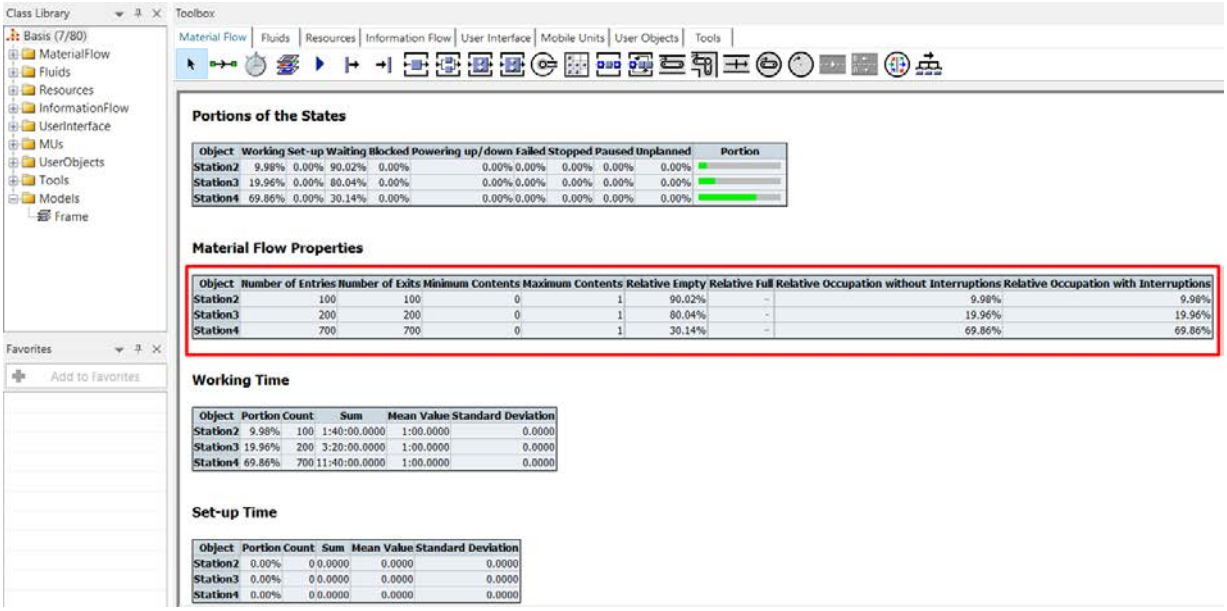


Рис.4.68 Аналіз результатів імітації зі створеною стратегією розподілення деталей

Для кращого сприйняття розподілу деталей між дільницею зі створеною власною стратегією, зменшимо швидкість процесу імітації, натиснувши лівою кнопкою миші на команду *“Open”* та скоригувавши швидкість повзуном (рис. 4.69).

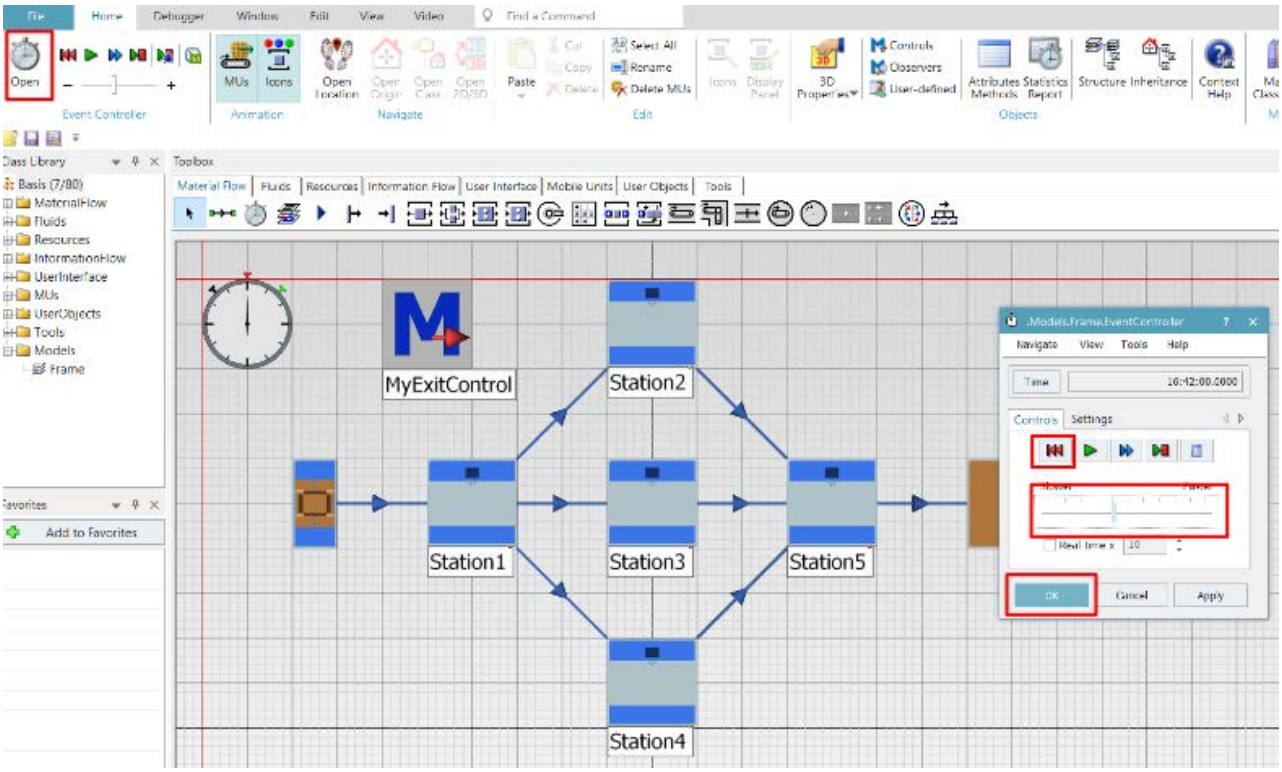


Рис. 4.69 Зменшення швидкості протікання процесу імітації

Завдання

1. Створити власну стратегію розподілення деталей між дільницями виробничої лінії використовуючи вбудовані інструменти управління розподілом.

2. Організувати і провести в лабораторних умовах моделювання кількох станцій.

Таблиця 4.4 Вихідні дані

Перша цифра	Кількість верстатів, шт.	Друга цифра	Розмір партії деталей, шт.
0	3	0	2500
1	4	1	3000
2	5	2	1200
3	3	3	6000
4	4	4	5000
5	2	5	1000
6	3	6	1200
7	4	7	2800
8	2	8	3500
9	4	9	1100

Примітка: Кількість верстатів – це кількість в стовбці рис.4.70

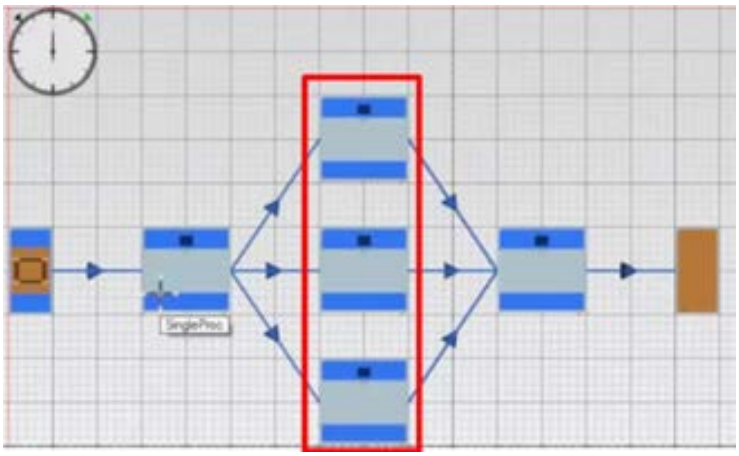


Рис.4.70 Кількість стовбців

Зміст протоколу

В протоколі навести фізичну модель виробничої лінії, статистику ресурсів виробничого процесу з блокуванням, статистику ресурсів виробничого процесу (у вигляді копії екрану). Висновки і пояснення. Додати файл імітаційної моделі виробничої лінії.

4.5 Моделювання виробничої лінії з робітниками

4.5.1 Підготовка імітаційної моделі

Після запуску програмного додатку необхідно створити нову модель за допомогою команди *“Create New Model”* (рис. 4.71). В наступному діалоговому вікні необхідно обрати тип моделі: двовимірна (2D) або тривимірна (3D). Обираємо 3D модель.

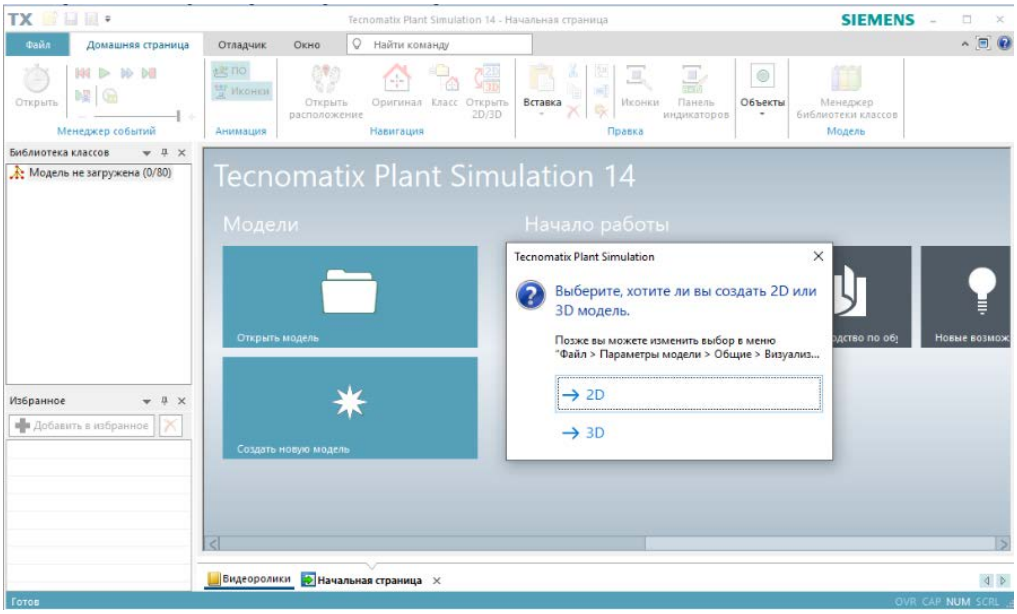


Рис. 4.71 Створення нової моделі

При проектуванні зручно використовувати режим перегляду *“Вид в плані”* (рис.4.72), для цього необхідно обрати вкладку *“Вид”* → *“Вид в плані”*.

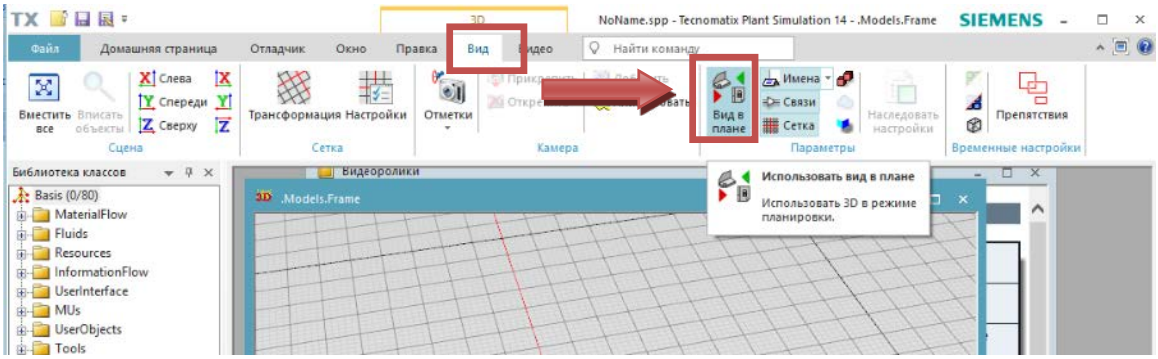


Рис. 4.72. Вибір режиму перегляду

Насамперед необхідно створити джерело постачання заготовок, використовуючи об’єкт *“Source”*. Для розміщення об’єкту*“Source”* користуємося панеллю об’єктів “*Toolbox*” (рис.4.73).

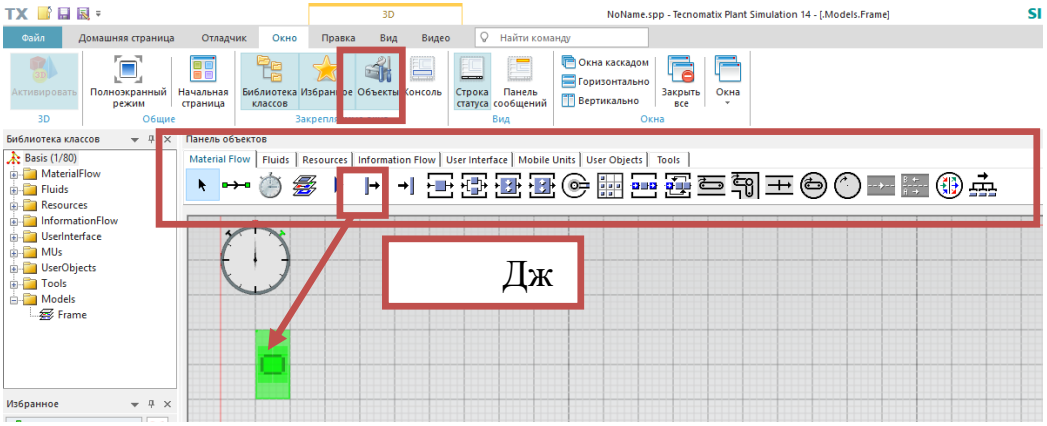


Рис. 4.73 Розміщення об’єкта “Source”

Тепер необхідно розмістити верстатне обладнання у кількості 4-х штук. Для цього в панелі об’єкті обираємо “*SingleProc*” (рис.4.74). “*SingleProc*” – це узагальнений об'єкт, який може представляти робочу станцію або верстат, на якому витрачається певна кількість часу для обробки деталі.

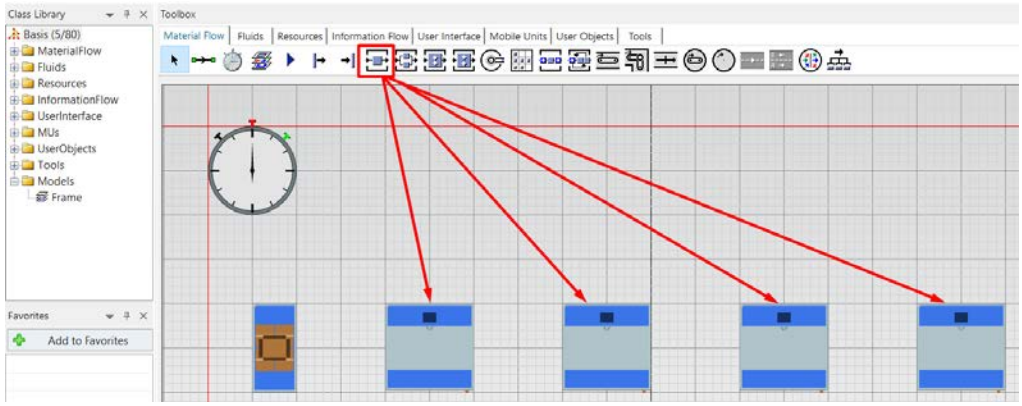


Рис. 4.74. Розміщення об’єктів “SingleProc”

Останній необхідний об'єкт – це сховище “*Drain*”. “*Drain*” необхідний для розміщення готових деталей. На підприємстві, це може бути, наприклад, склад готової продукції, відділ відвантаження (рис.4.75).

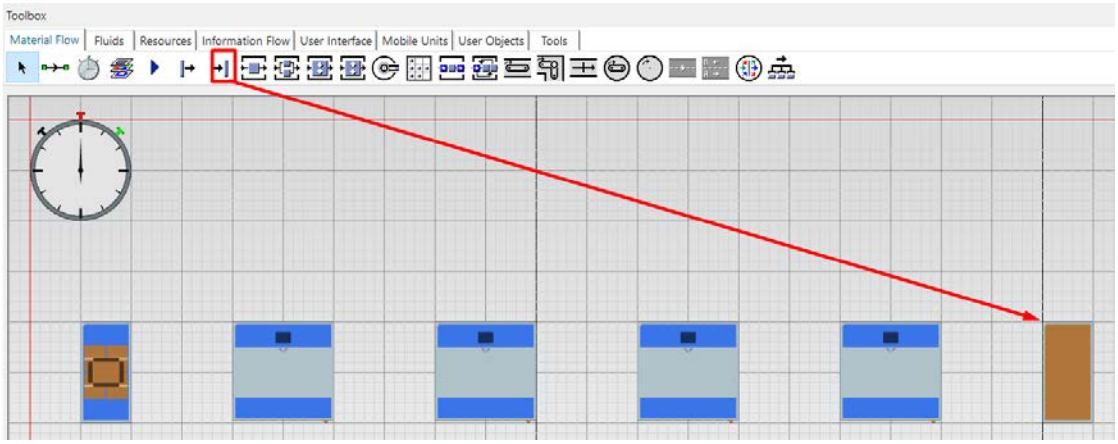


Рис. 4.75 Розміщення об’єкта “Drain”

Розміщені об’єкти необхідно з’єднати за допомогою об’єкту “*Connector*” (рис.4.76). Об’єкт типу “*Connector*” визначає переміщення деталей між дільницями виробничої лінії.

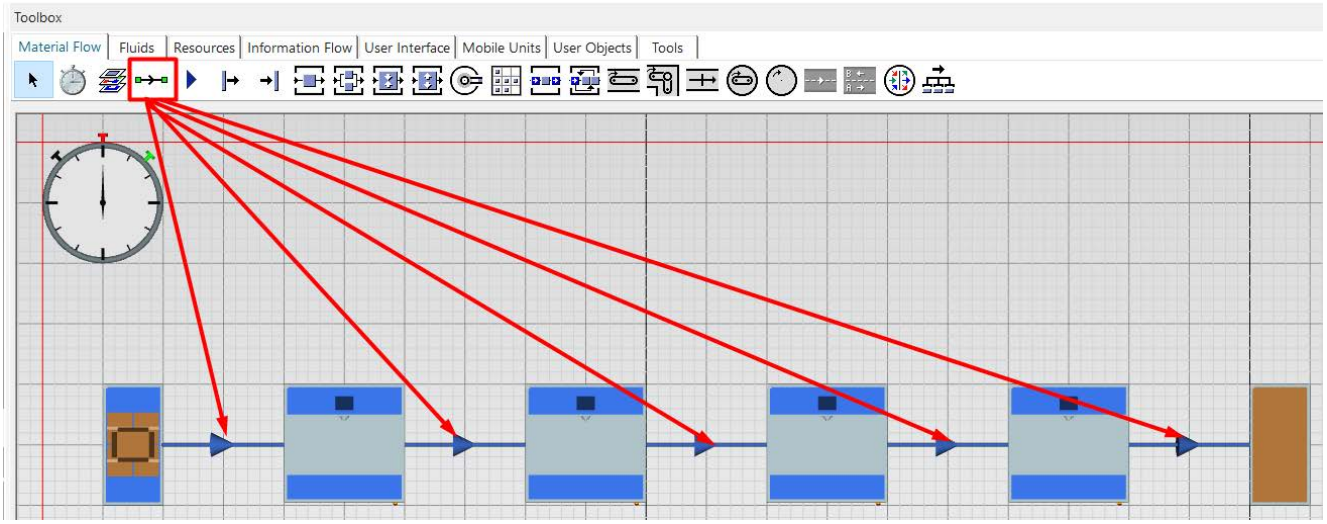


Рис. 4.76 З’єднання об’єктів за допомогою об’єкту “Connector”

Далі необхідно додати робочі місця біля дільниць. Використовуючи панель об’єктів “*Toolbox*” , на вкладці “*Resources*” знаходимо команду “*Workplace*” та розміщаємо необхідну кількість робочих місць (рис.4.77).

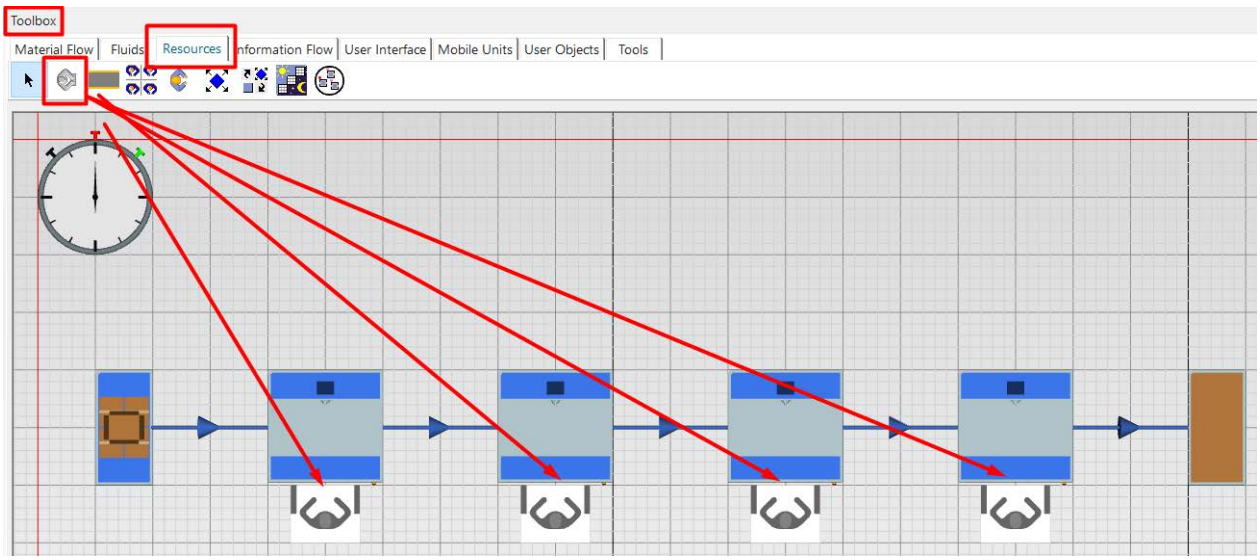


Рис. 4.77 Розміщення робочих місць

Розміщуємо об’єкт “*Workerpool*”, що являє собою приміщення з якого робітники прямують до робочих місць та об’єкт “*Broker*” (рис.4.78).

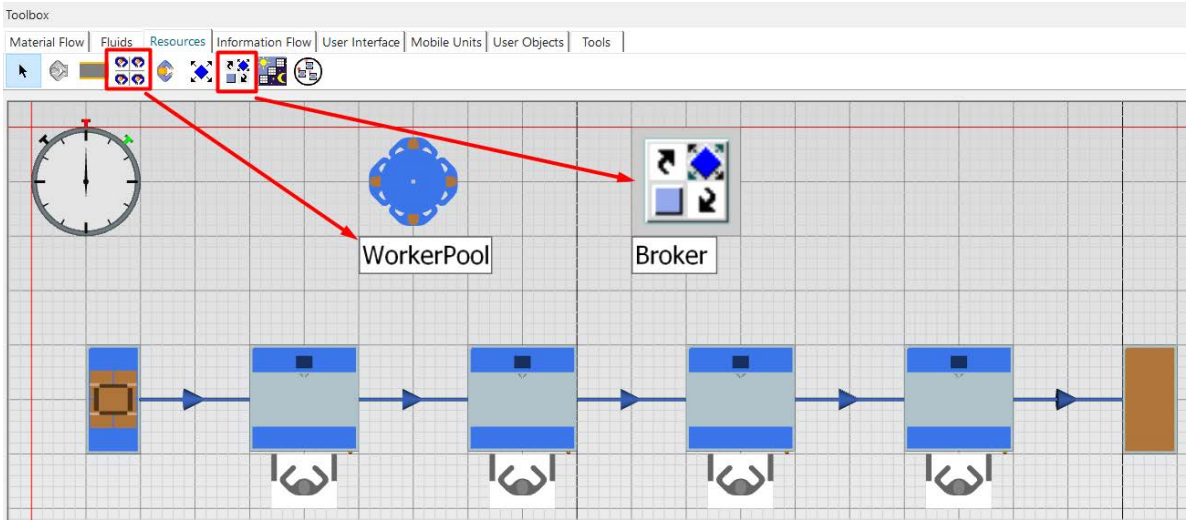


Рис. 4.78 Розміщення об'єктів "Workerpool" та "Broker"

4.5.2 Імітація виробничого процесу

Для запуску імітації виробничого процесу переходимо в 3D режим, для цього на вкладці *"Вид"* дезактивуємо параметр відображення *"Вид в плані"* (рис.4.79). Управління імітацією відбувається на вкладці "*Event Controller*". Перед запуском імітації необхідно натиснути кнопку "*Reset Simulation*", а потім кнопку "*Start/Stop Simulation*". Через декілька секунд зупиняємо процес повторним натисканням кнопки "*Start/Stop Simulation*".

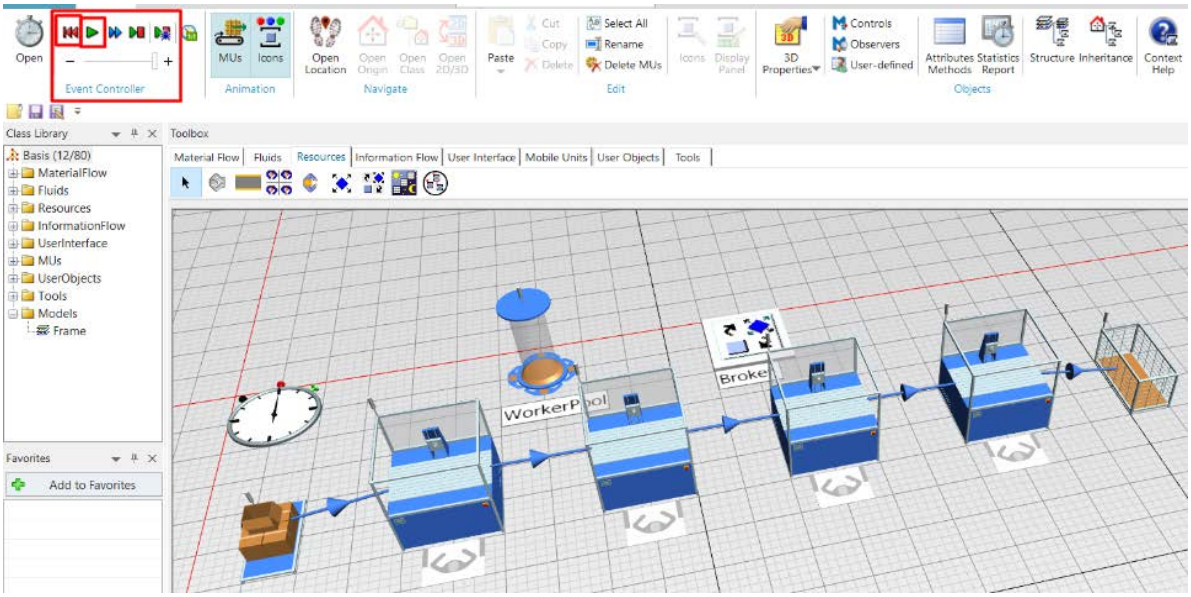


Рис. 4.79 Імітація виробничого процесу

4.5.3 Аналіз результатів імітації та корекція моделі

В процесі імітації не були задіяні робітники, через те що необхідно попередньо налаштувати можливість роботи працівників за робочими станціями. Для цього двічі натискаємо лівою клавішею миші по дільниці та на

вкладці *“Importer”* активуємо функцію *“Active”*. Повторюємо дану процедуру для всіх чотирьох дільниць (рис.4.80).

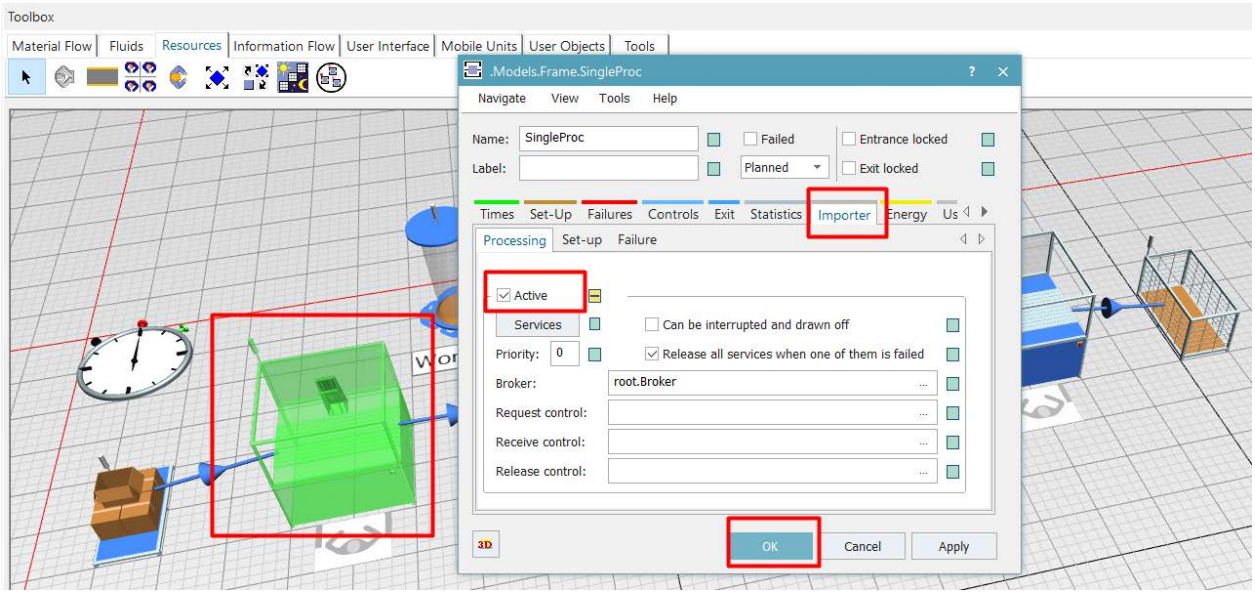


Рис. 4.80 Активація можливості роботи працівника на дільниці

Знову запускаємо імітацію виробничого процесу. Тепер є можливість спостерігати наявність працівників на робочих місцях (рис.4.81).

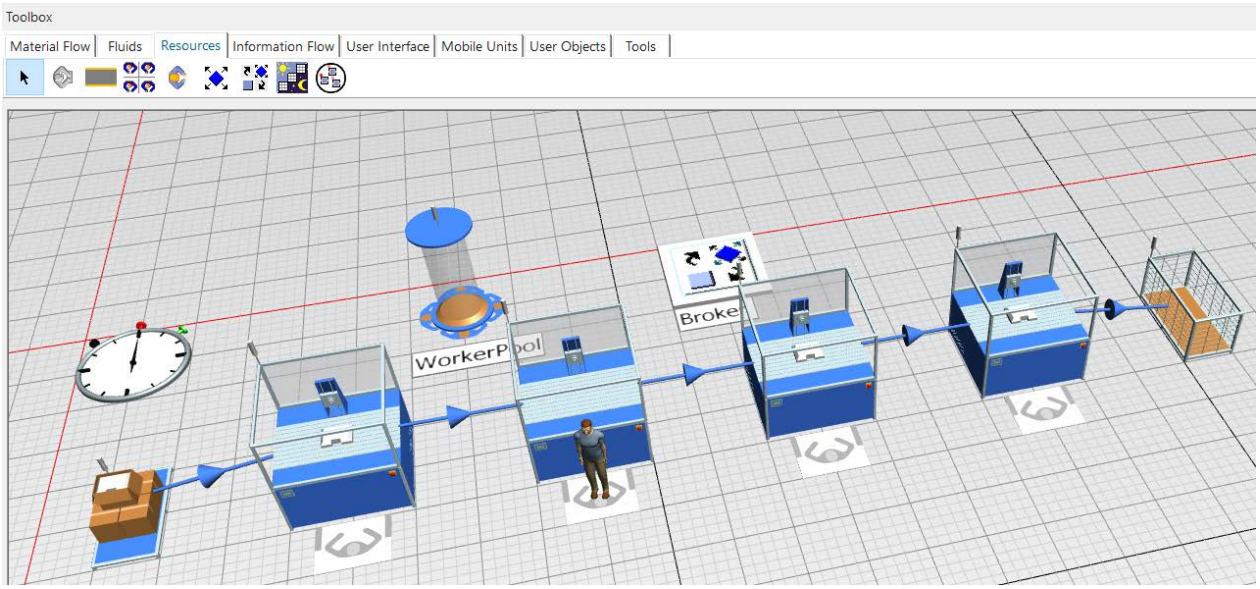


Рис. 4.81 Імітація виробничого процесу

Для збільшення продуктивності виробничого процесу необхідно збільшити кількість працівників, для цього двічі натискаємо лівою клавішею миші на об’єкт *“Workerpool”*. На вкладці *“Attributes”* вмикаємо функцію *“Workers”* та активуємо команду *“Create Table”*. У колонці *“Amount”* збільшуємо кількість робітників до 2-х (рис.4.82).

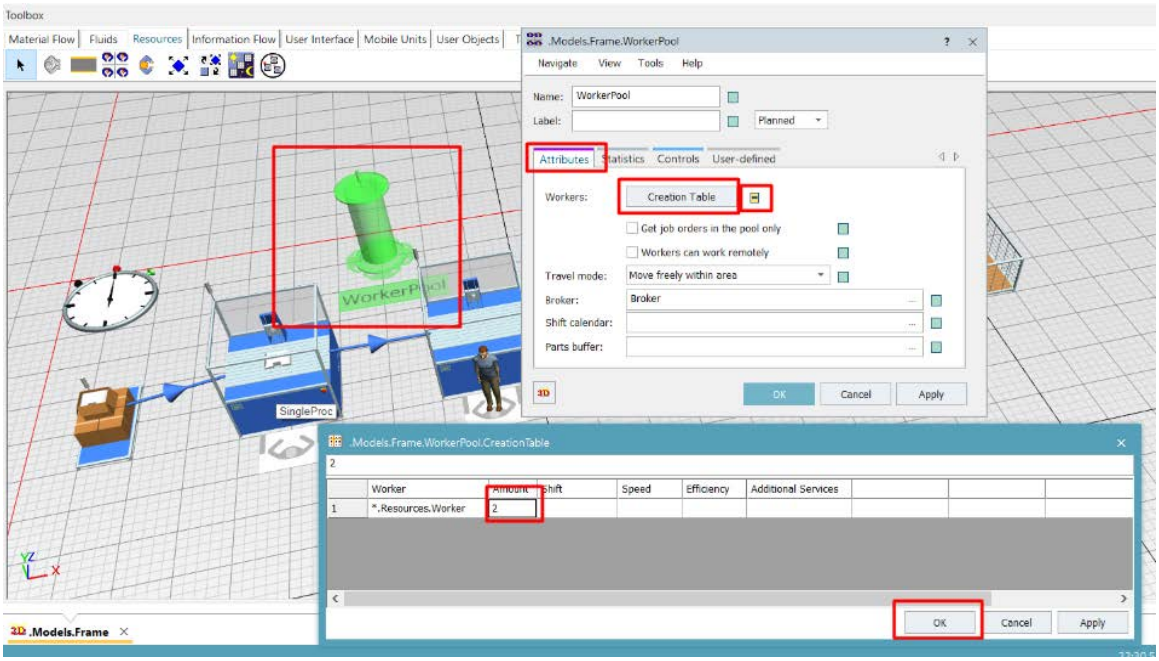


Рис. 4.82. Збільшення кількості робітників

Також необхідно змінити схему роботи працівників для того щоб реалізувати конфігурацію, при якій перший робітник працює на першій та другій дільницях, а другий – на третій та четвертій дільницях. Для цього переходимо у властивості першого об’єкта *“Station”*, двічі натиснувши на нього лівою клавішею миші. На вкладці *“Importer”* активуємо функцію *“Services”*, поставивши навпроти відмітку. Далі натискаємо *“Services”*, у вікні, що відкрилося, у колонці *“Service”* змінюємо текст на *“job1”* (рис.4.83).

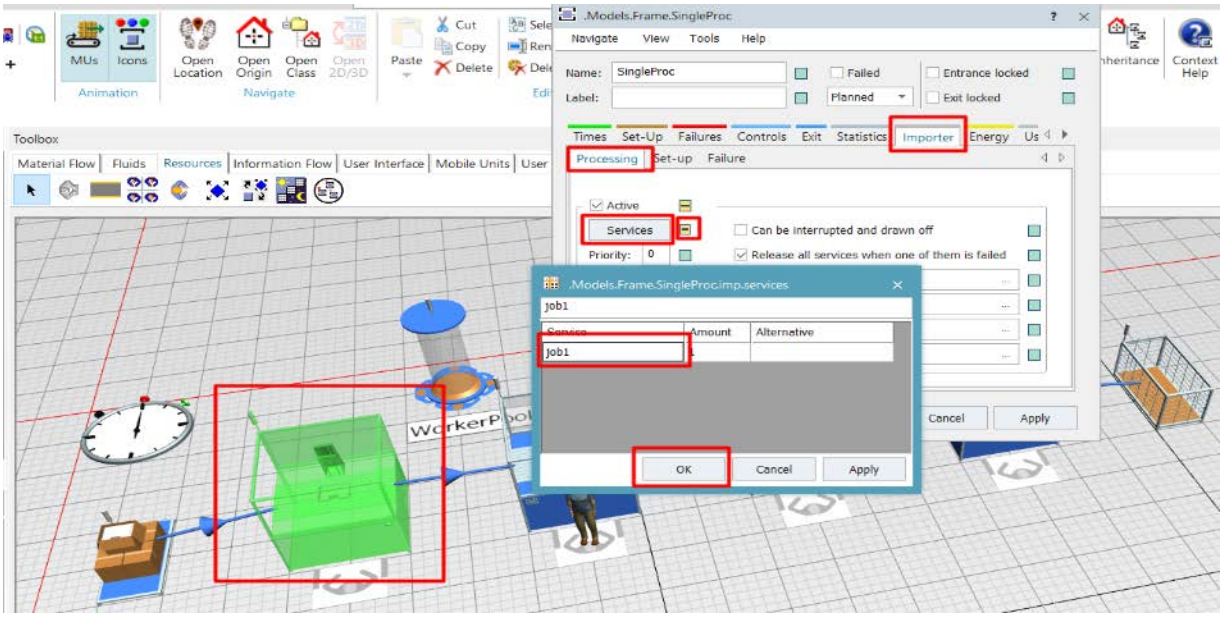


Рис. 4.83 Зміна конфігурації роботи працівників на дільницях

Повторюємо цю операцію на дільницях 2,3 та 4. На дільницях 3 та 4 у колонці *“Service”* змінюємо текст на *“job2”*. Переходимо у властивості об’єкта *“WorkerPool”*, активувавши його подвійним натиском лівої клавіші миші. На вкладці *“Attributes”* активуємо команду *“Create Table”*. Заповнюємо таблицю як показано нижче, додавши попередньо ще одну строку. Для цього необхідно натиснути праву клавішу миші та обрати команду *“Insert Row”* (рис.4.84).

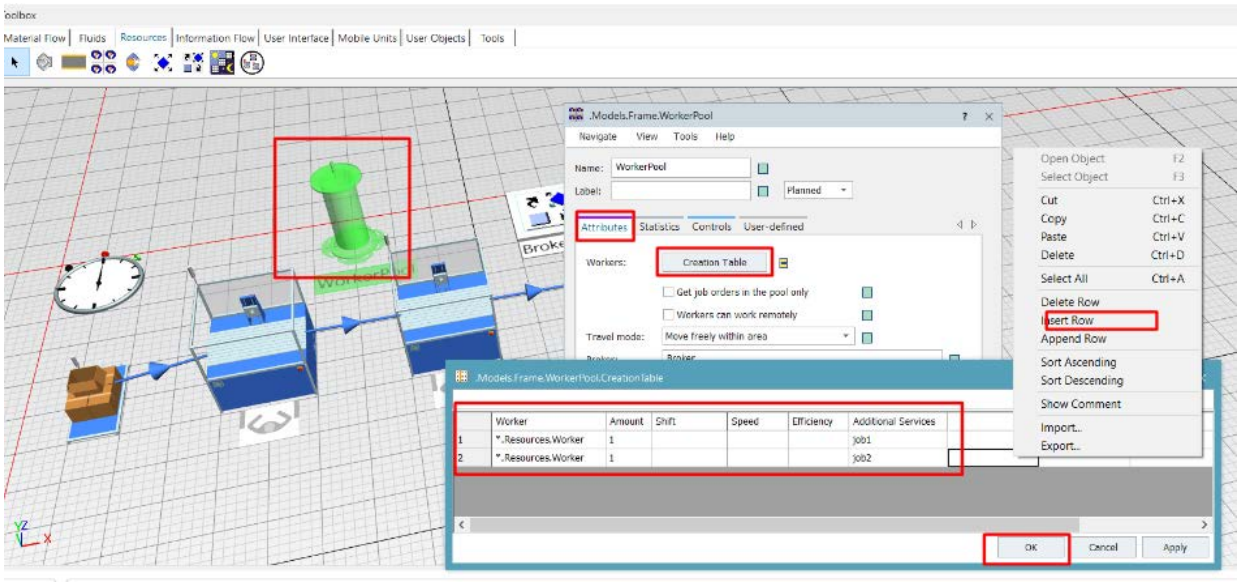


Рис. 4.84. Налаштування об’єкта “WorkerPool”

Знову запускаємо імітацію виробничого процесу. Тепер ми можемо спостерігати необхідну нам схему роботи працівників на робочих місцях (рис.4.85).

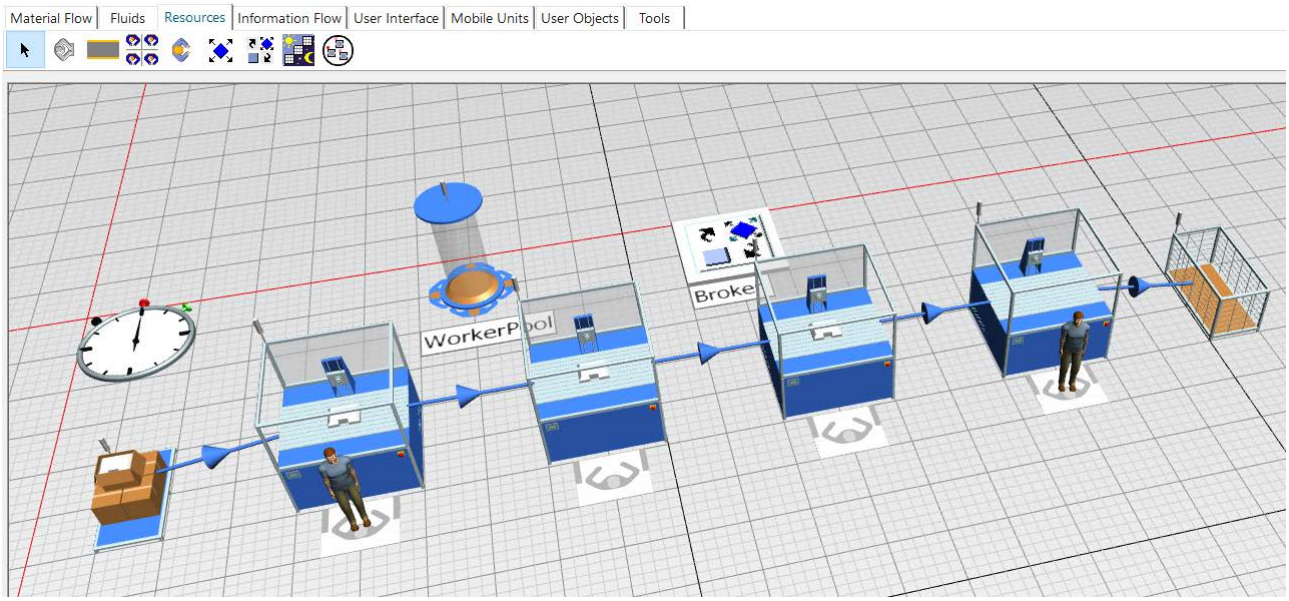


Рис. 4.85. Імітація виробничого процесу

Завдання

1. Створити 3D-модель виробничої лінії із чотирма дільницями.

2. До створеної моделі додати двох робітників, які працюватимуть на дільниці.

3. Налаштувати роботу таким чином, щоб перший робітник працював на першій та другій дільницях, а другий – на третій та четвертій дільницях.

Таблиця 4.5 Вихідні дані

Перша цифра	Кількість верстатів, шт.	Друга цифра	Кількість робітників, шт.
0	6	0	2
1	4	1	3
2	8	2	3
3	5	3	2
4	4	4	2
5	7	5	3
6	6	6	4
7	4	7	2
8	5	8	2
9	4	9	3

Зміст протоколу

У протоколі навести фізичну модель виробничої лінії, статистику ресурсів виробничого процесу з блокуванням, статистику ресурсів виробничого процесу (у вигляді копії екрану). Висновки і пояснення. Додати файл імітаційної моделі виробничої лінії.

4.6 Моделювання роботи робітників цеху

У цій роботі мова йде про моделювання роботи робітників, що переміщують вироби між робочими станціями. Для того, щоб змоделювати цей процес, необхідно спочатку змоделювати виробничу лінію, що складається з джерела, двох станцій та виходу. Після цього потрібно перейти на вкладку “*Resources*” та додати об’єкти, необхідні для виконання роботи, а саме робочі місця, пов’язані зі станціями, розподільник працівників, тобто місце, де перебуває працівник тоді, коли не виконує роботу, та брокер, тобто об’єкт, що пов’язує завдання, що виконуються на станціях, з робітниками, які ці завдання виконують. На (рис. 4.86) зображено змодельовану виробничу лінію.

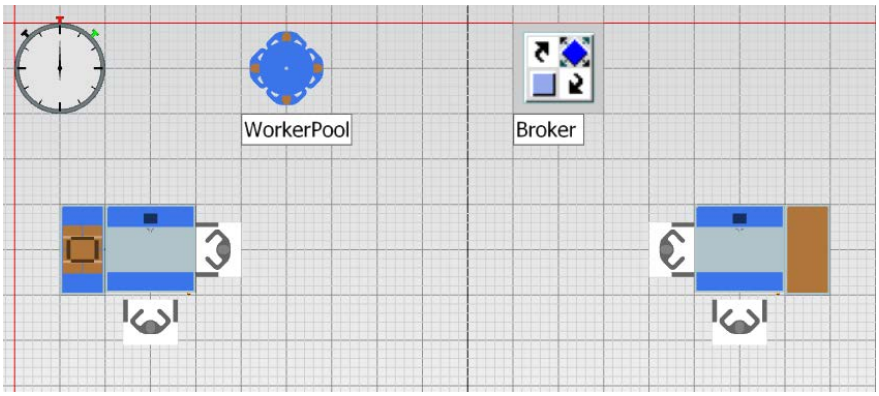


Рис. 4.86 Модель виробничої лінії

Потрібно обробити деталь на першій станції, після цього робітник має перенести її на другу станцію, потім відбувається оброблення деталі на другій станції. Для цього ми відкриваємо станцію та переходимо на вкладку “*Importer*” та ставимо галочку у полі “*Active*” (рис. 4.87).

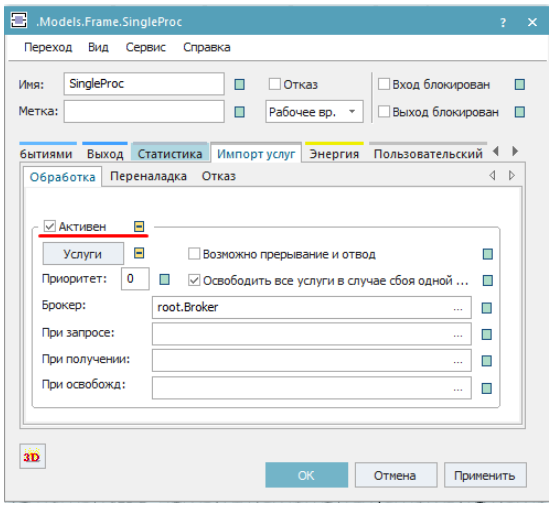


Рис. 4.87 Вкладка” Importer” у налаштуваннях станції

Після цього нам потрібно обрати станції, з яких робітник повинен забрати та доставляти деталі. Для цього відкриваємо вкладку “*Exit*“ та обираємо стратегію “*Carry part away*” (рис. 4.88), натискаємо “*Apply*”.

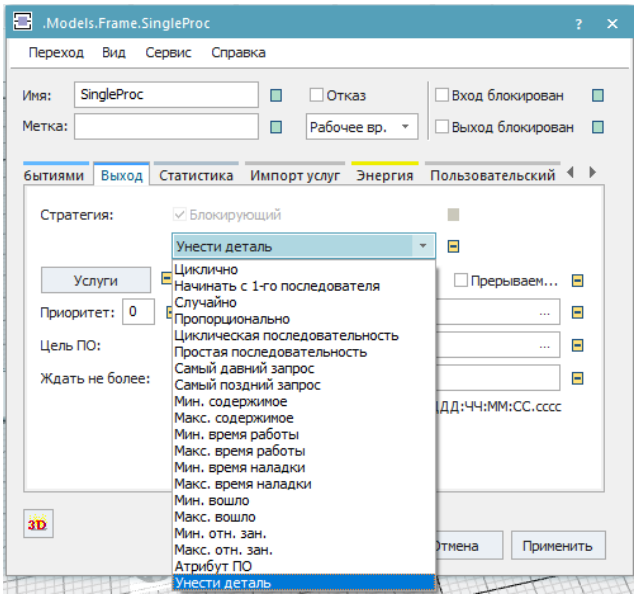


Рис. 4.88 Представлення вкладки “Exit“

У якості цілі (“*MU target*”) обираємо робоче місце 2 (“*Workplace 2*”) (рис. 4.89).

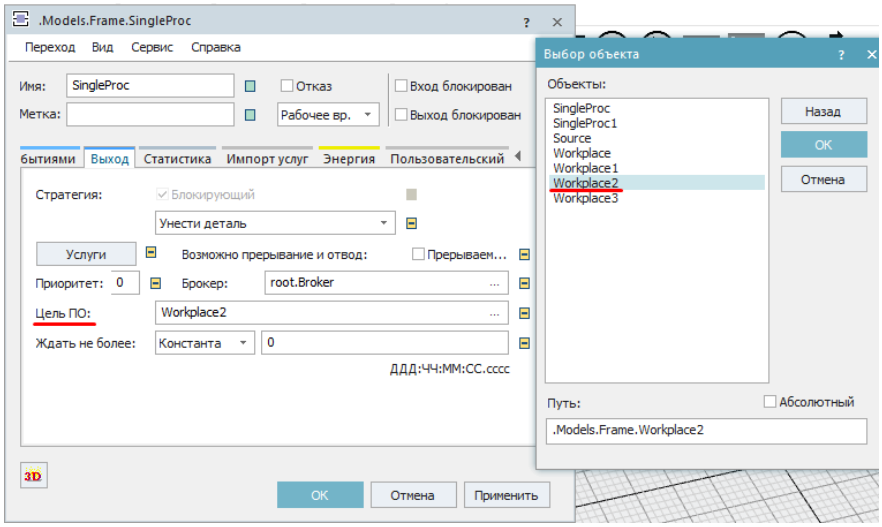


Рис. 4.89 Вибір робочого місця

Також активуємо “*Importer*“ на другій станції. Тепер можна відмінити поточну симуляцію та почати нову. Бачимо, що розподільник працівників тепер містить одного робітника, що виконує роботу. Можна знову перезапустити симуляцію та побачити, як робітник виходить із розподільника, йде до станції, обробляє та переносить деталь. Робітник використовує робоче

місце 1 щоб обробити деталь та переносить її на робоче місце 2, а потім обробляє її там. Тепер необхідно змінити модель так, щоб робітник обробляв деталь на робочому місці 1, забирав її з робочого місця 1, переносив на робоче місце 2, обробляв на робочому місці 3. Для цього визначаємо два окремі види роботи – одна для оброблення, інша для перенесення. Відкриваємо вікно станції та у вкладці *“Importer”* вмикаємо опцію *“Services”*, натиснувши на зелене поле біля кнопки *“Services“* (рис. 4.90).

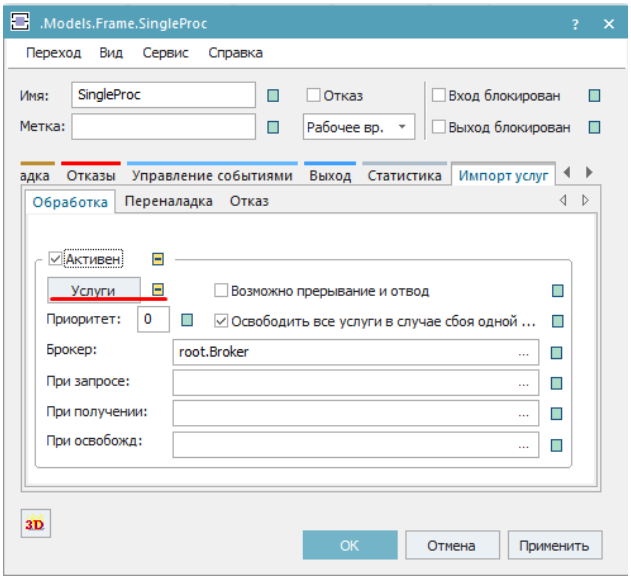


Рис. 4.90 Налаштування послуг

Відкриваємо таблицю *“Services”* натисканням на відповідну кнопку. Замінюємо *“StandardService”* на *“process”* та натискаємо *ОК* (рис. 4.91).

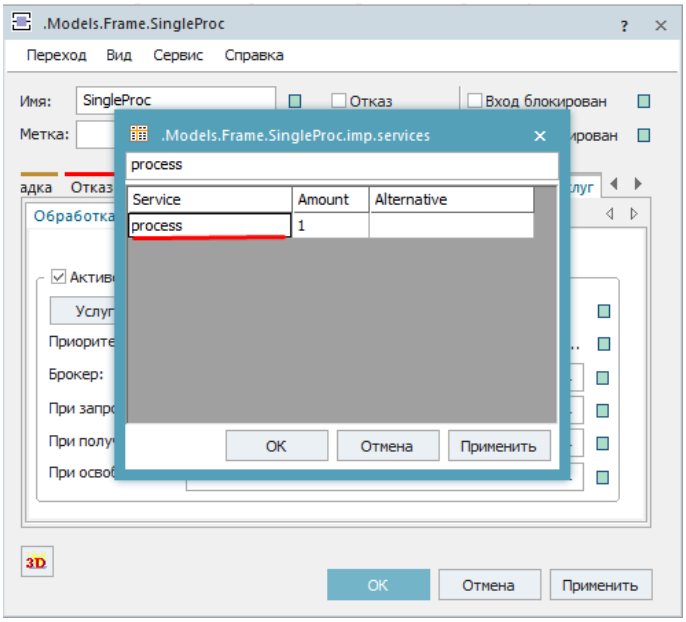


Рис. 4.91 Налаштування таблиці Services

На вкладці “*Exit*“ у таблиці “*Services*“ замінюємо “*StandardService*” на “*carry*” та натискаємо “*OK*”. Тепер відкриваємо діалогове вікно станції 1 та на вкладці “*Importer*“ знову вмикаємо “*Services*“ та замінюємо “*StandardService*” на “*process*”. Щоб пов’язати робочі місця з процесом відкриваємо його діалогове вікно, активуємо опцію “*Supported Services*“, натиснувши на зелене поле біля відповідної кнопки, та у таблиці вводимо “*process*“ (рис. 4.92). Тепер робітник використовуватиме це місце для виконання оброблення.

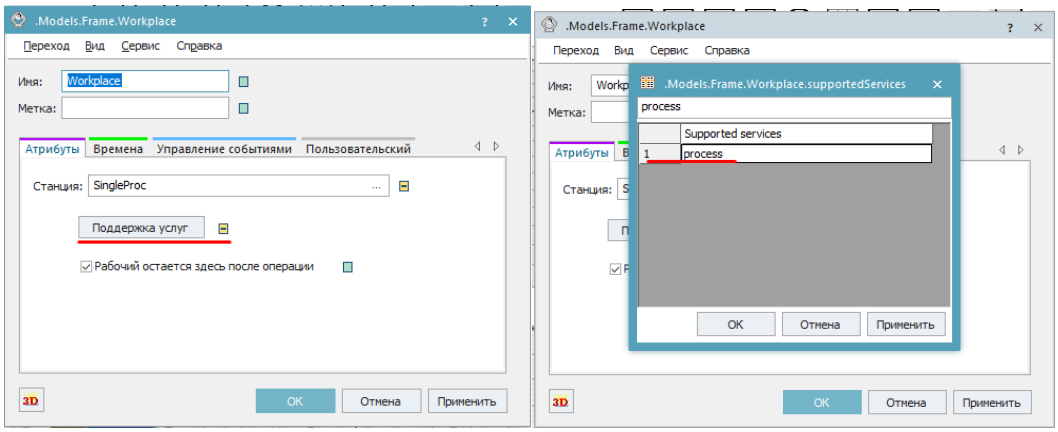


Рис. 4.92 Налаштування підтримки послуг

Аналогічно зв’язуємо робоче місце 1 та робоче місце 2 з “*carry*“. Відкриваємо діалогове вікно розподільника та вмикаємо наслідування Таблиці створення, відкриваємо цю таблицю і записуємо “*process*” та “*carry*” у “*Additional Services*”. Тепер можна скинути та заново запустити симуляцію, щоб побачити зміни у моделі.

Завдання

1. Підключити бібліотеку “*Crane*” до своєї моделі.

2. Засвоїти методику роботи із елементом “*MultiPortalCrane*”, задання габаритних розмірів крану та траєкторії його руху.

3. Засвоїти методику програмування руху крана за допомогою об’єкт “*Method Information Flow*”.

4. Запуск симуляції роботи крана у 3D.

Таблиця 4.6 Вихідні дані

Перша цифра	Кількість верстатів, шт.	Час роботи верстата (процесу) №1, год	Друга цифра	Кількість робітників, шт.	Час роботи верстата (процесу) №2, год
0	4	2	0	1	3
1	3	3	1	3	2
2	2	1	2	2	1
3	3	4	3	2	4
4	2	5	4	2	5
5	4	3	5	3	2
6	3	2	6	3	4
7	4	1	7	2	3
8	2	4	8	2	5
9	2	5	9	1	2

Примітка: Час роботи розподілити довільно між верстатами (процесами).

Зміст протоколу

В протоколі навести фізичну модель виробничої лінії, статистику ресурсів виробничого процесу, графік використання верстатів, таблицю стану виробництва (у вигляді копії екрану). Висновки і пояснення. Додати файл імітаційної моделі виробничої лінії.

4.7 Моделювання в режимі 3D

1. Натискаємо кнопку *«Створити нову модель»*. У діалоговому вікні можна вибрати режим, в якому Ви хочете працювати з варіантами 2D і 3D для цієї моделі. Вибираємо 3D-симуляцію плоских об'єктів, відкриваємо 3D-вікно, в якому створюємо нашу імітаційну модель.

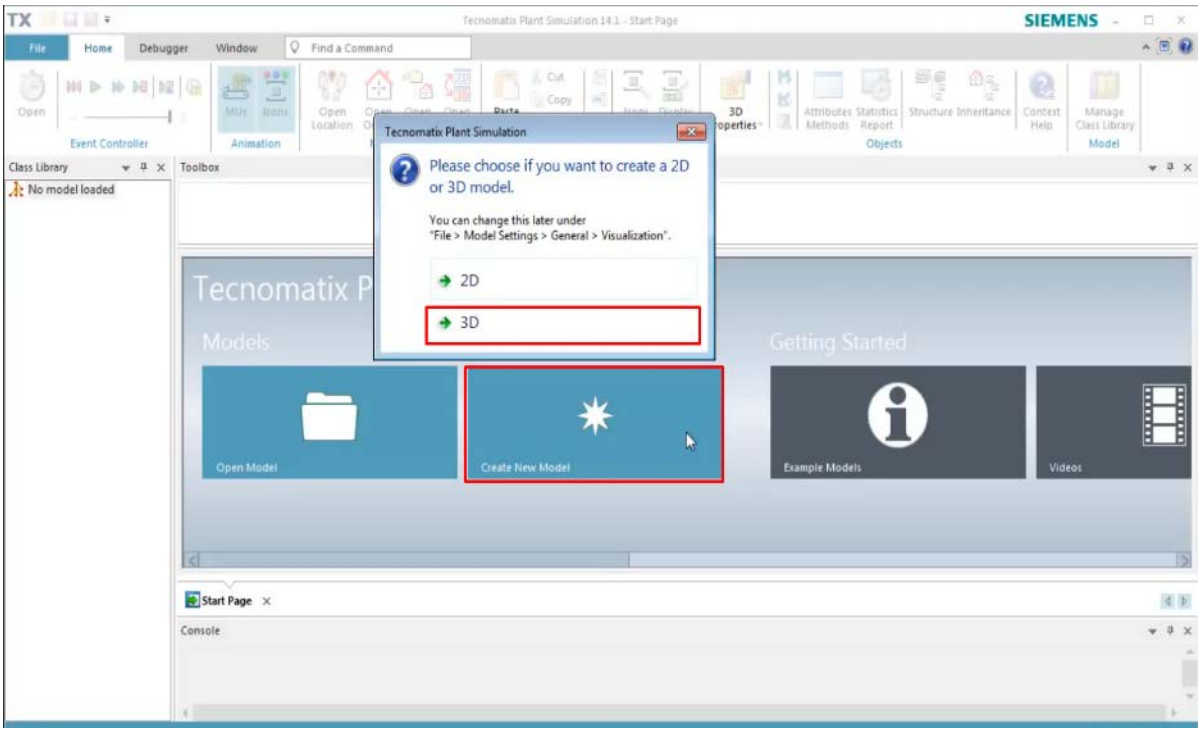


Рис 4.93 Створення нової моделі

2. Потрібно натиснути на *«Вид»* далі *«Планування Виду»* і розгорнути простір моделювання по всьому інтерфейсу, як зазначено на рис. 4.94.

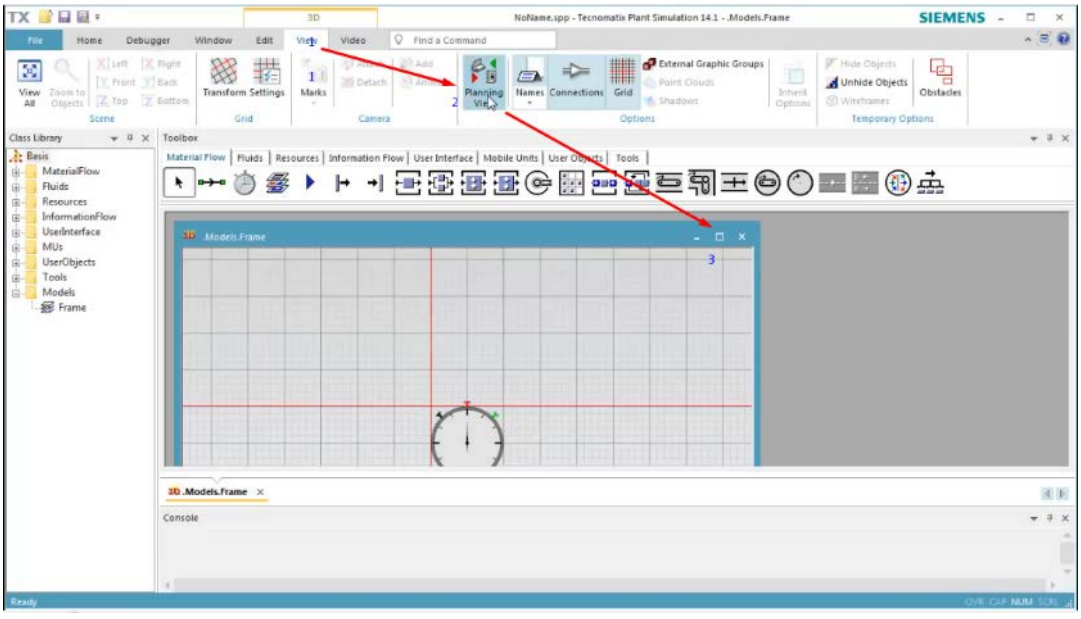


Рис. 4.94 Зміна виду

3. У будь-якому місці цього ж інтерфейсу натисніть праву кнопку миші і перетягніть її в нове положення, щоб вид інтерфейсу співпадав з рис. 4.94.

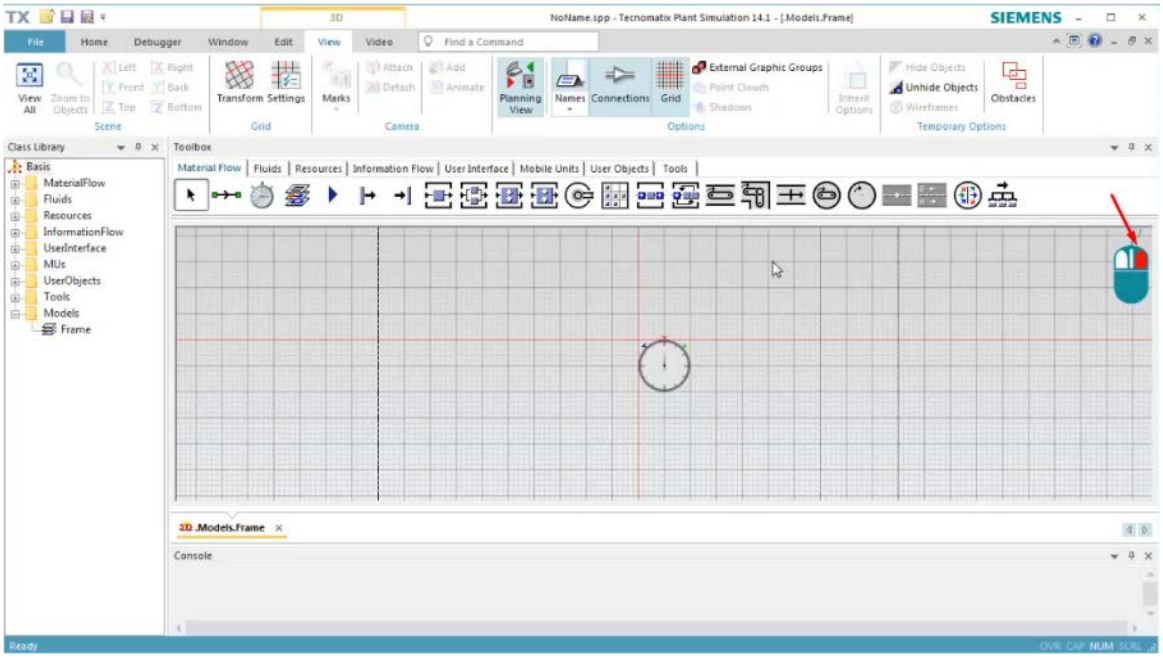


Рис. 4.94 Переміщення інтерфейсу

4. Оберіть той об’єкт, який ви хочете встановити, натисніть двічі лівою кнопкою миші, якщо Ви хочете встановити не один об’єкт, затиснувши «*Ctrl*» виберіть курсором, де хочете встановити предмет, натисніть лівою кнопкою миші, оберіть «клас» об’єкта рис.4.95.

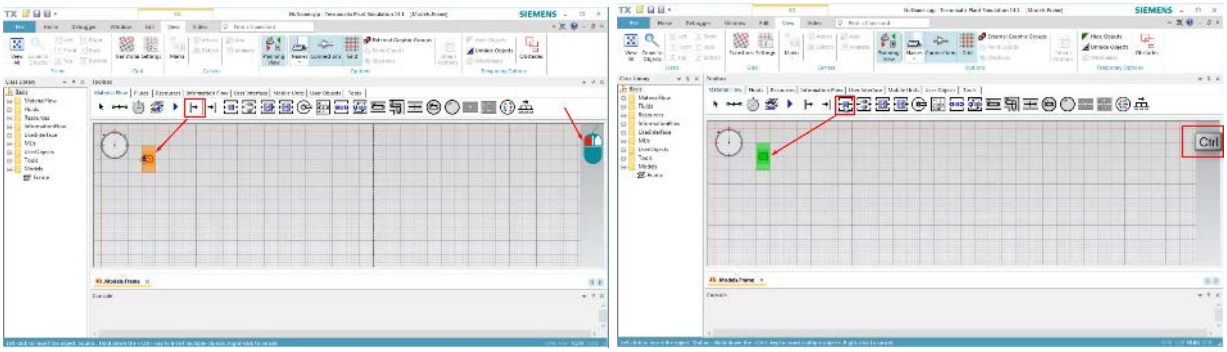


Рис. 4.95 Створення об'єкта і вибір класу

5. Вибравши останній елемент в тому ж вікні, натисніть «*Escape*» щоб завершити режим множинної вставки рис.4.96.

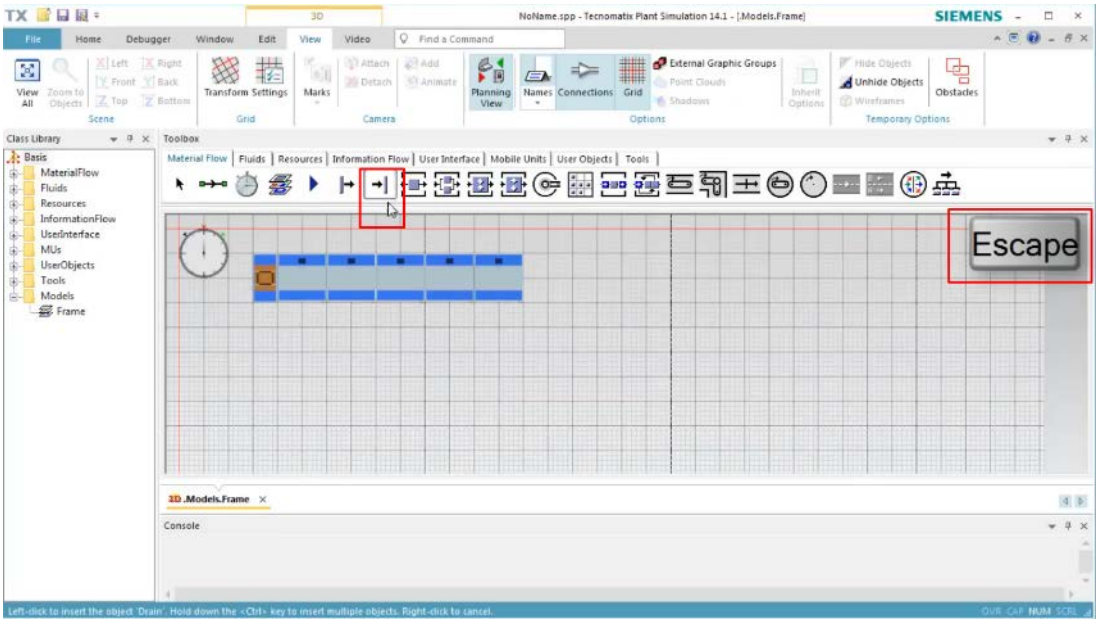


Рис 4.96 Вихід з режиму створення класу

6. Натисніть клавішу виходу або натисніть праву кнопку миші. При вставці імітації об'єкта надається два різних режиму прив'язки: прив'язка до сітки і прив'язка до об'єктів, але переміщення за замовчуванням не включається рис.4.97.

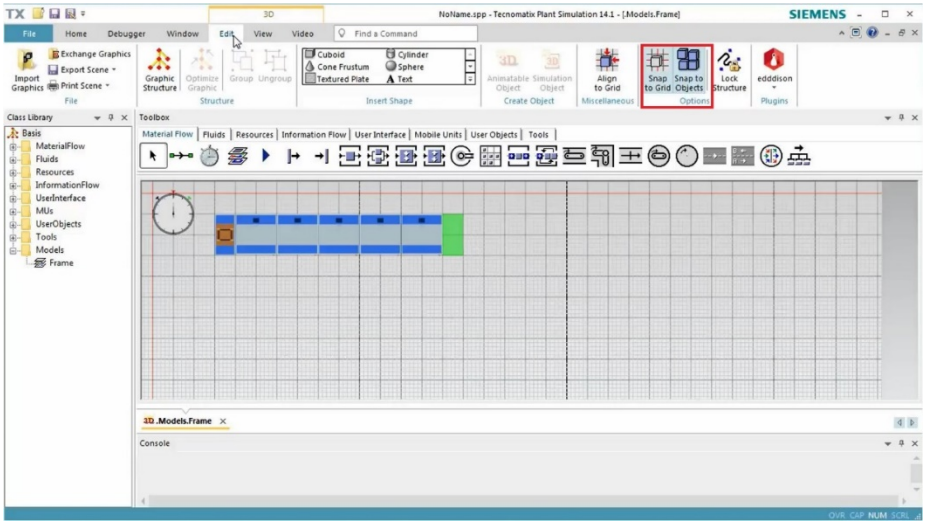


Рис. 4.97 Прив'язки за замовчуванням

Ви можете змінити режим прив'язки на вкладці *«Редагувати стрічку»*. Рекомендується залишити обидва режими прив'язки увімкненими.

7. Для того, щоб приблизити чи віддалити об’єкти, використовуйте колесо миші. Щоб сповільнити чи пришвидшити рух приближення чи віддалення, затискайте *«Ctrl»* чи *«Shift»* відповідно рис.4.98.

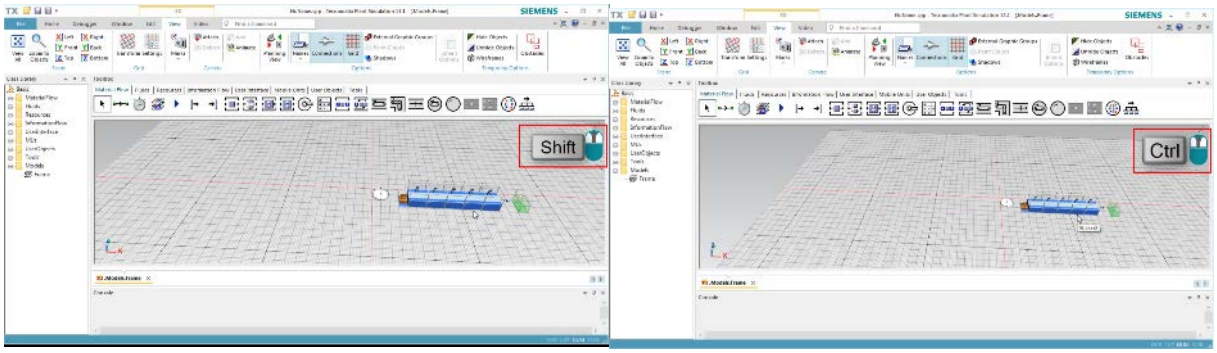


Рис. 4.98 Приближення і віддалення

8. Виділені об'єкти можна переміщати за допомогою клавіш зі стрілками, при кожному натисканні клавіш об'єкти переміщаються на 0,1 метра. Для того, щоб перемістити об’єкт на 1 метр, необхідно ще додатково затиснути клавішу *«Shift»*. Для того, щоб повернути виділені об'єкти, утримуйте клавішу *«Ctrl»* і натискайте клавіші зі стрілками *вліво* або *вправо* на клавіатурі, при цьому об'єкт буде обертатися на 1 градус. Якщо при цьому додатково натиснути клавішу *«Shift»*, об'єкт буде повертатися на 45 градусів рис.4.99.



Рис. 4.99 Переміщення по осям координат

9. Щоб змінити положення *Z* обраного об'єкта, утримуйте клавішу *«Ctrl»* і натискайте клавішу *вгору* або *вниз* на клавіатурі. Об’єкт при цьому рухається на 0,1 м у вертикальному напрямку. Якщо додатково затиснути клавішу *«Shift»*, об'єкт переміститься на 1 метр рис.4.100.

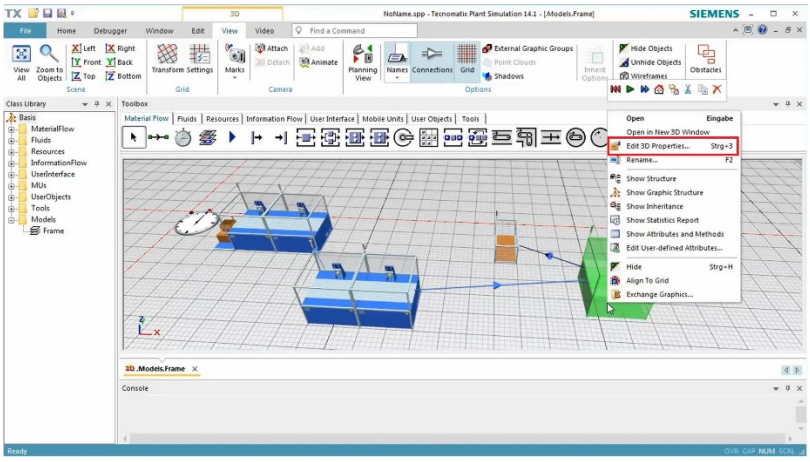


Рис. 4.100 Зміна параметрів побудови

10. Змінити параметри розташування об’єкта можна, обравши *«Редагувати 3D-властивості»* у контекстному меню об’єкта. У вікні буде вказано положення та поворот об’єкта. Ви можете змінювати дані параметри.

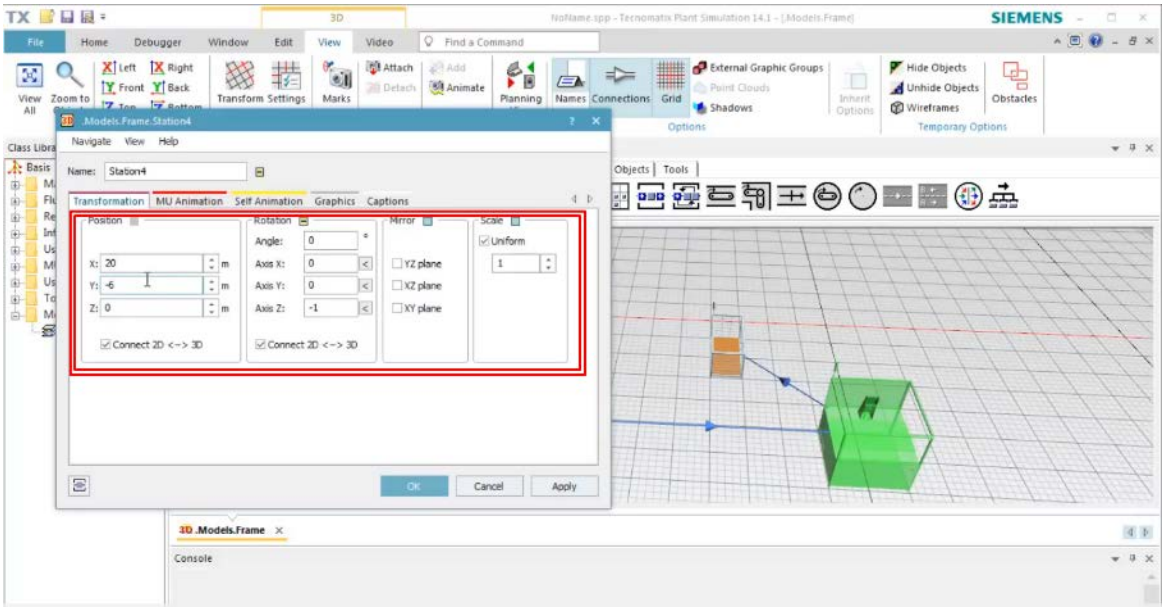


Рис. 4.101 Зміна параметрів розташування об'єкта

11. У моделюванні відображаються всі об'єкти з певною графікою, ви можете змінити графіку для кожного об'єкта окремо. Для цього потрібно натиснути на *«Редагувати графіку»* в спеціальному полі рис.4.102.

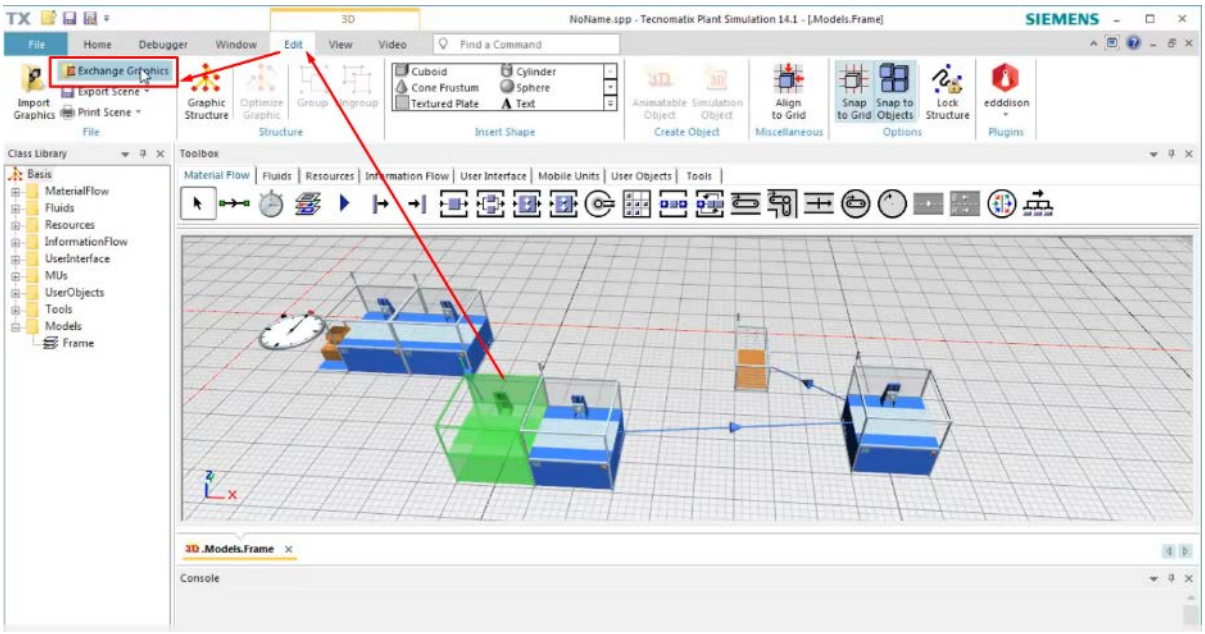


Рис 4.102 Зміни параметрів створеного об'єкта

12. У діалоговому вікні виберіть один з файлів 3D, який вам підходить, та натисніть двічі.

3D-файли містять не тільки графіку, але і налаштування анімації об'єкта.

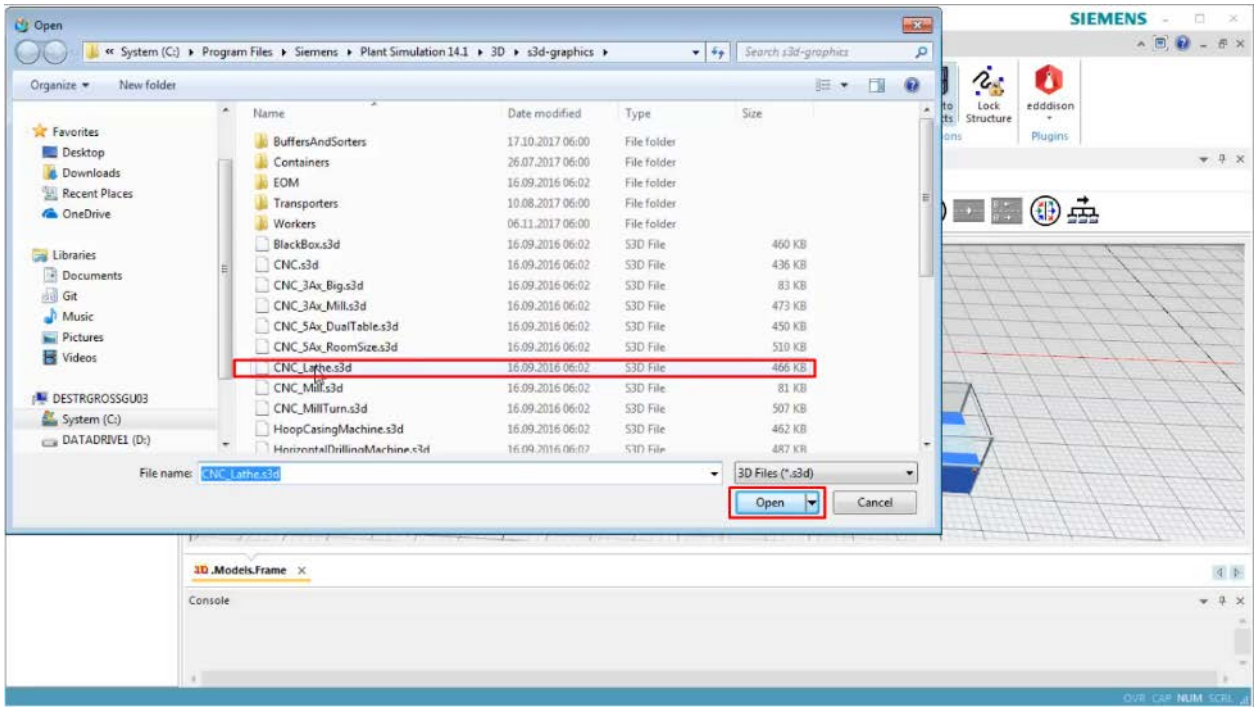


Рис. 4.103 Відкривання файлу для зміни графіки об'єкта

13. Натисніть *«Редагувати 3D-властивості»*, перейдіть до заголовків вкладок і встановіть прапорець *«Ім'я»*, увімкнений тут рис.4.104.

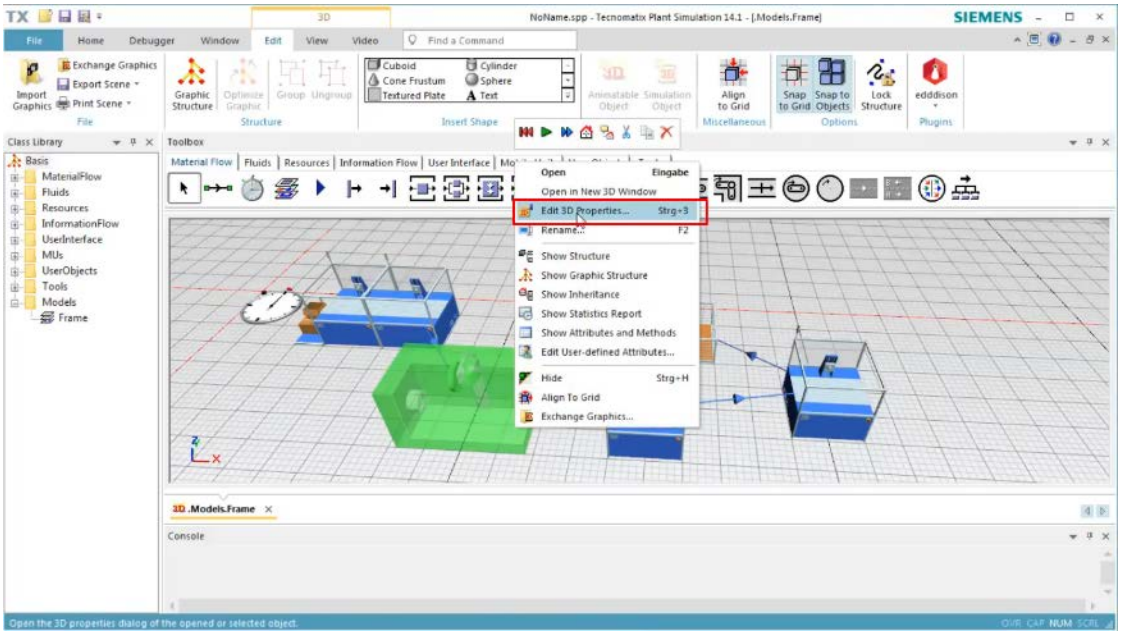


Рис.4.104 Зміна назви об'єкта

14. Ви можете включити або відключити видимість імені об'єкта і ярлика. Якщо ви хочете передати ім'я об'єкта для всіх станцій, відкрийте контекстне меню для об'єкта класу в наборі інструментів і виберіть *«Редагувати властивості 3D» рис. 4.105*.

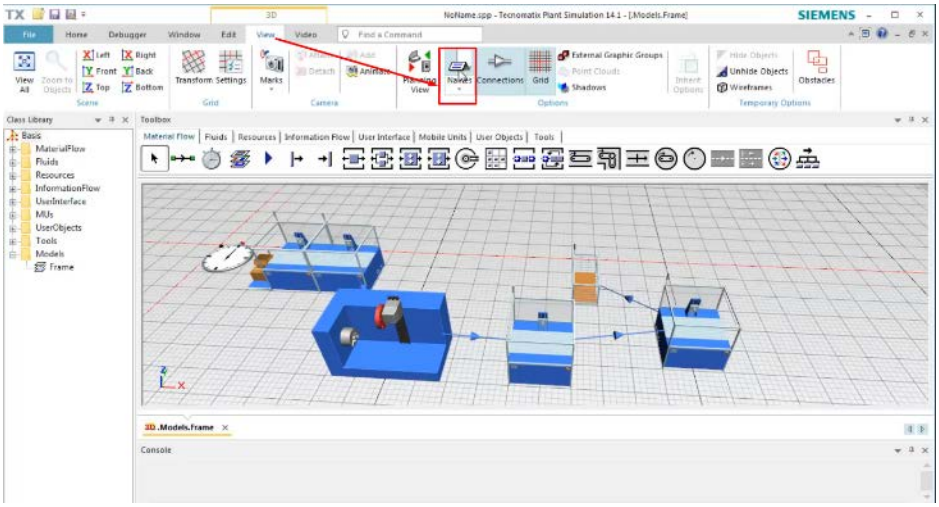


Рис. 4.105 Зміна назви об'єкта через стрічку

Змініть заголовки, увімкніть або вимкніть видимість імені і мітки для класу. Для всіх екземплярів цього класу, які успадковують це значення, і вид вкладки *«Стрічка»*, бачимо увімкнення і вимкнення видимості імен на ярликах, тому використовується імітаційна модель у наступній лабораторній роботі.

15. Після виконання роботи збережіть файл.

Завдання

1. Створити 3D-модель виробничої дільниці з верстатів
2. Перемістити верстати по робочій площі за допомогою клавіш.
3. Повернути верстати під кутом.

Таблиця 4.7 Вихідні дані

Перша цифра	Кількість верстатів, шт.	Тип першого верстату	Друга цифра	Кут повороту верстатів, град.	Тип другого верстату
0	2	Токарний	0	25	Токарний
1	3	Фрезерний	1	20	Фрезерний
2	4	Свердлильний	2	45	Свердлильний
3	5	Фрезерний	3	55	Фрезерний
4	4	Свердлильний	4	50	Свердлильний
5	3	Токарний	5	40	Токарний
6	2	Свердлильний	6	25	Свердлильний
7	2	Фрезерний	7	15	Фрезерний
8	3	Свердлильний	8	30	Свердлильний
9	2	Токарний	9	70	Токарний

Примітка: Тип решти верстатів, якщо це необхідно, обирається довільно.

Зміст протоколу

В протоколі навести фізичну модель виробничої лінії (у вигляді копії екрану). Висновки і пояснення. Додати файл імітаційної моделі виробничої лінії.

4.8 Орієнтування заготовок та об’єктів цеху

4.8.1. Підготовка імітаційної моделі

Для виконання лабораторної роботи №8 потрібен файл, створений у роботі №7. Відкриваємо цей файл за допомогою команди *«Open»* (рис. 4.106).

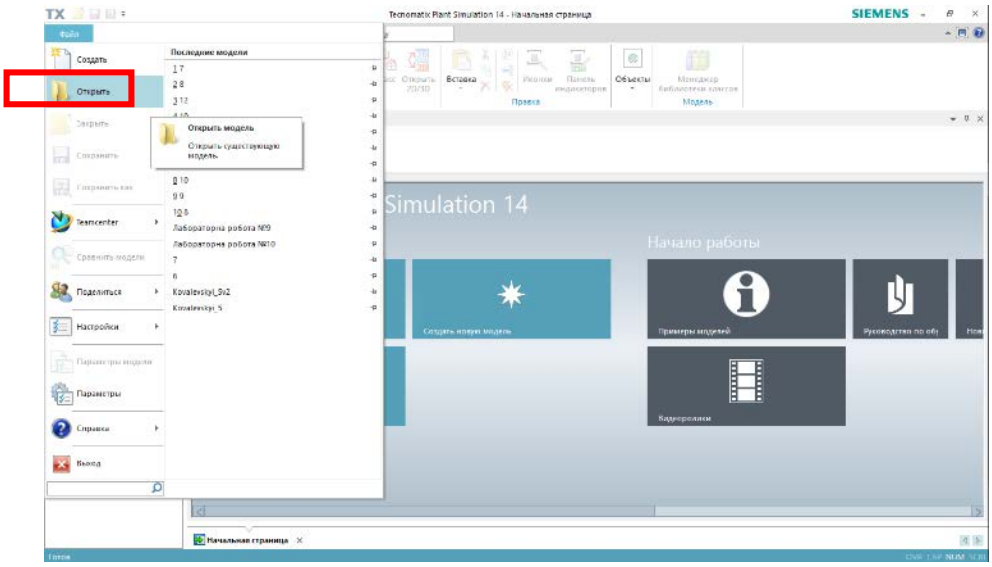


Рис. 4.106 Відкриття готової моделі

При проектуванні зручно використовувати режим перегляду *“Вид в плані”* (рис. 4.107), для цього необхідно обрати вкладку *“Вид”* → *“Вид в плані”*.

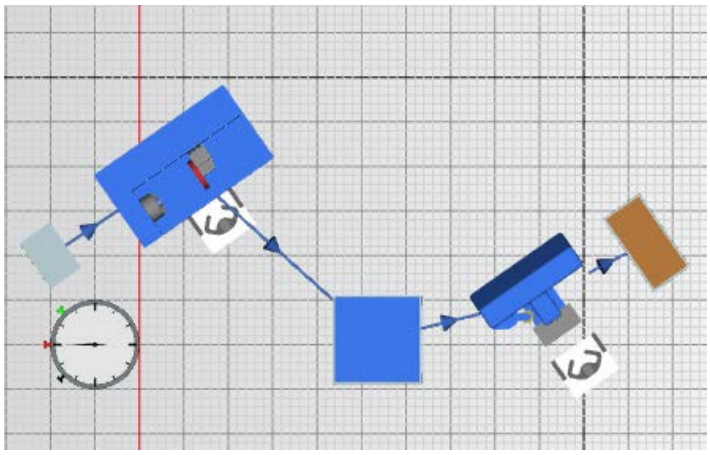


Рис. 4.107 Вид в плані для початку роботи

Щоб переглянути ділянку цеху, зроблену в лабораторній роботі №7 в режимі 3D, натискаємо на вид у плані на вкладці *«Вид»* (рис. 4.108)

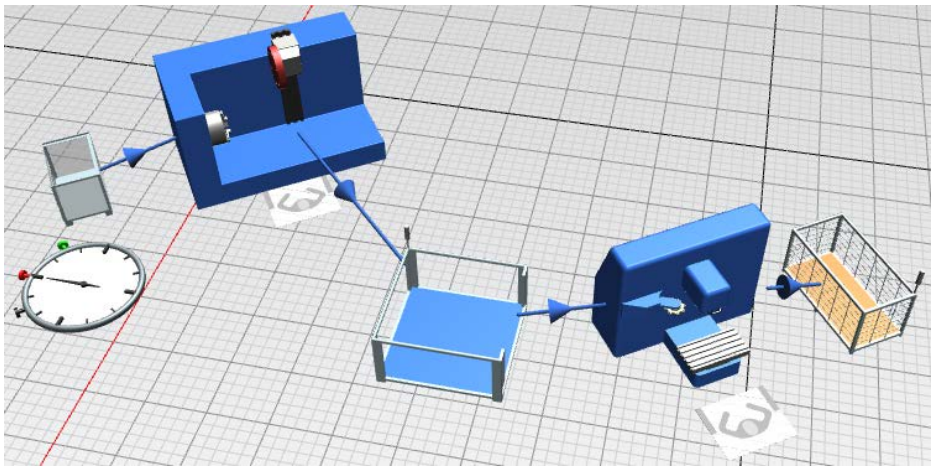


Рис. 4.108 Ділянка цеху в режимі 3D

Затискаємо ліву клавішу миші та видозмінюємо ділянку цеху до наступного виду (рис. 4.109).

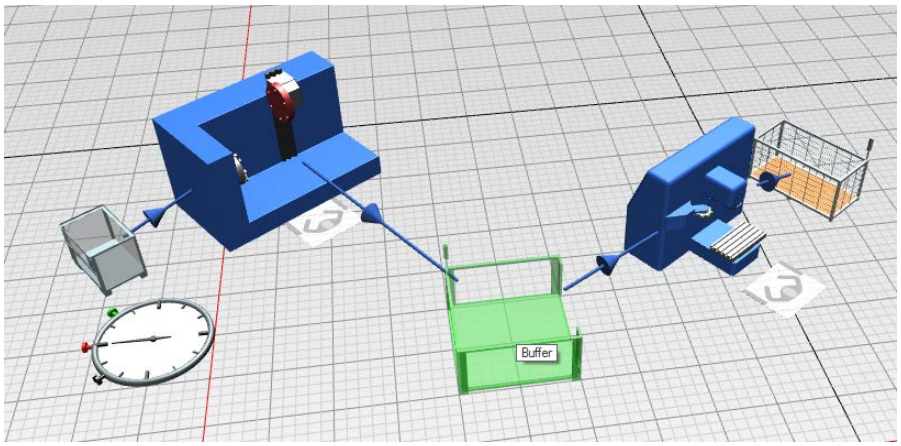


Рис. 4.109 Видозміна ділянки цеху

Пересуваємо всі об’єкти на нашій ділянці до певної відстані між ними (рис. 4.110).

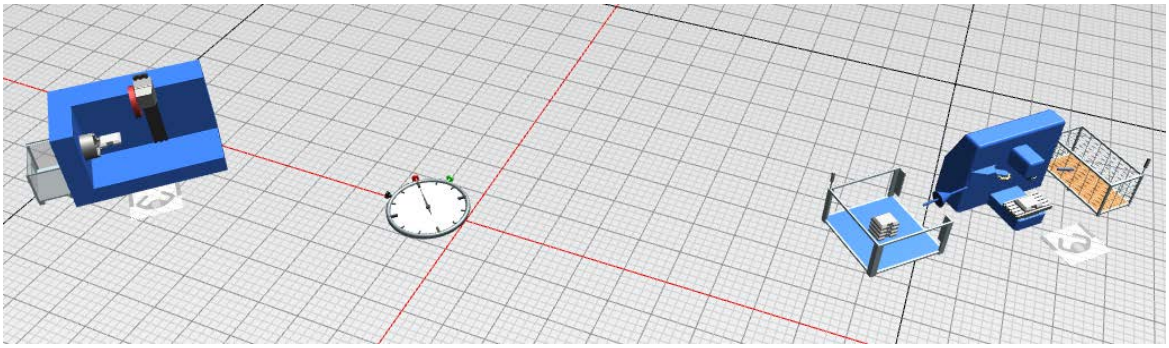


Рис. 4.110 Результат пересування об’єктів цеху

Далі на вкладці *«Material Flow» Панелі об’єктів* обираємо *«Line»* для того, щоб побудувати початкову лінію конвеєра (рис. 4.111).

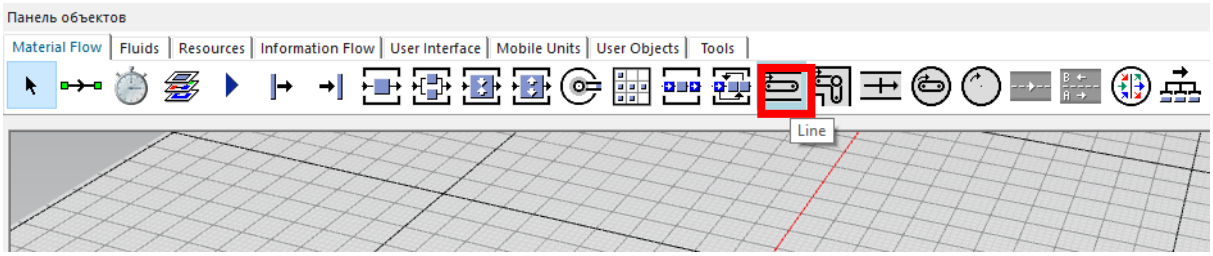


Рис. 4.111 Розміщення об'єкта «Line»

Далі відкривається вікно *«Параметры линии/дуги»*, де можна задати основні параметри конвеєра до його побудови (рис. 4.112)

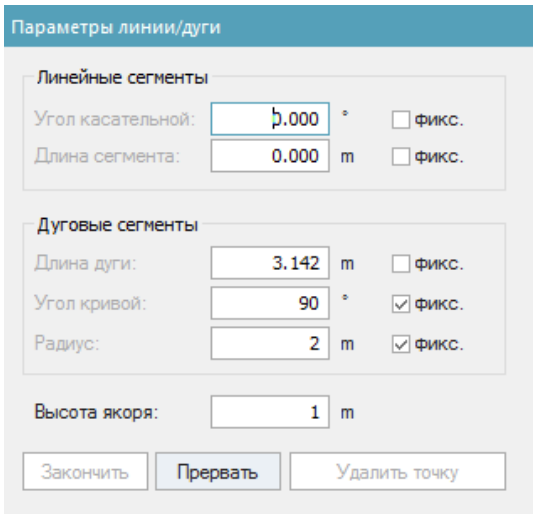


Рис. 4.112 Вікно «Параметры линии/дуги»

Після задання параметрів починаємо будувати транспортну лінію, для цього натискаємо на площину ділянки перший раз і пересуваємо мишку до іншої точки. Натискаємо ліву кнопку миші, у результаті побудувалась лінія конвеєру (рис. 4.113).

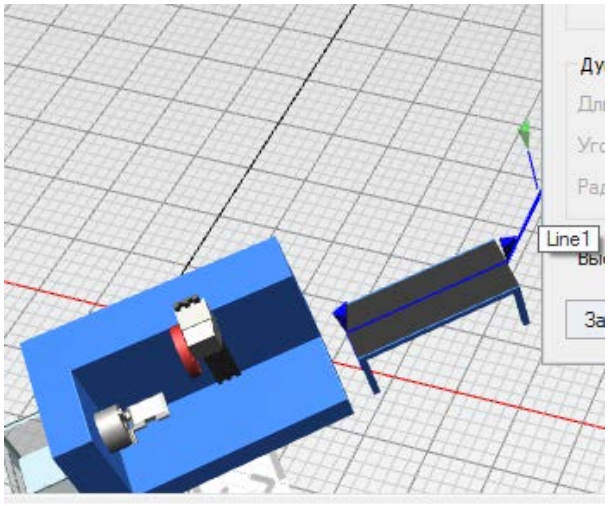


Рис. 4.113 Початок побудови лінії конвеєру

Для того, щоб повернути конвеєр дугою затисніть клавішу *«Ctrl»* до появи можливих варіантів та мишкою перегляньте можливі варіанти дуги повороту конвеєру (рис. 4.115).

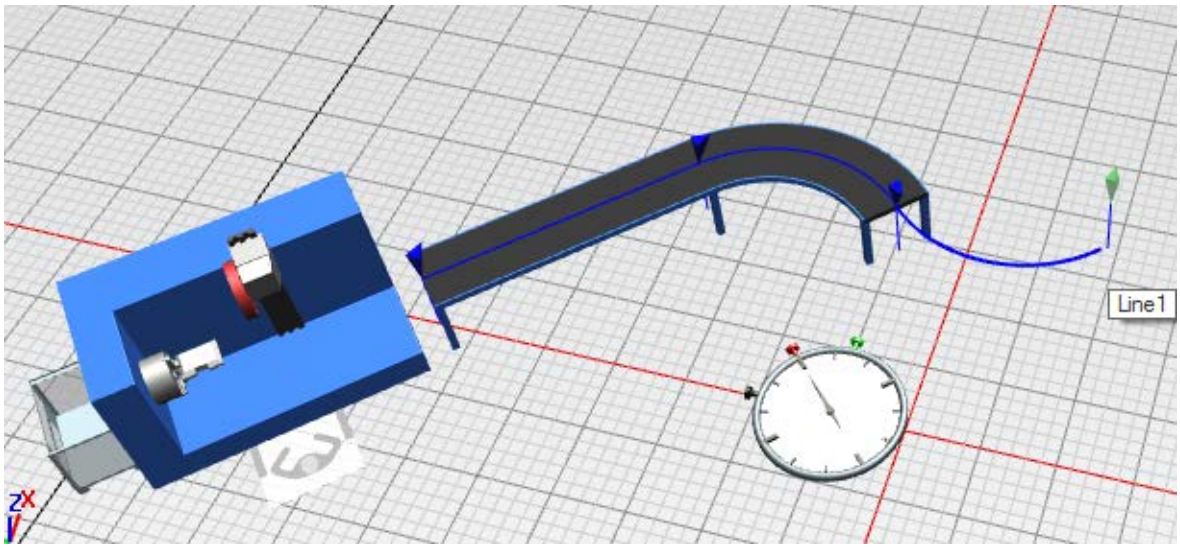


Рис. 4.115 Результат повороту лінії конвеєру

Аналогічними діями будуємо всю конвеєрну лінію (рис. 4.116).

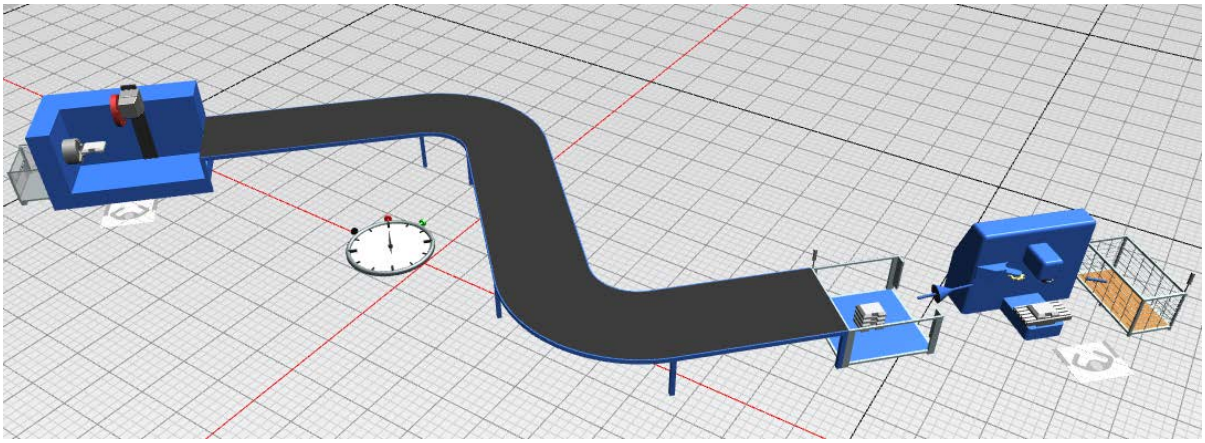


Рис. 4.116 Результат побудови всієї конвеєрної лінії

Після закінчення побудови конвеєру натисніть клавішу *«Закончить»*, конвеєр автоматично побудується і збережеться на площині ділянки цеху (рис. 4.117).

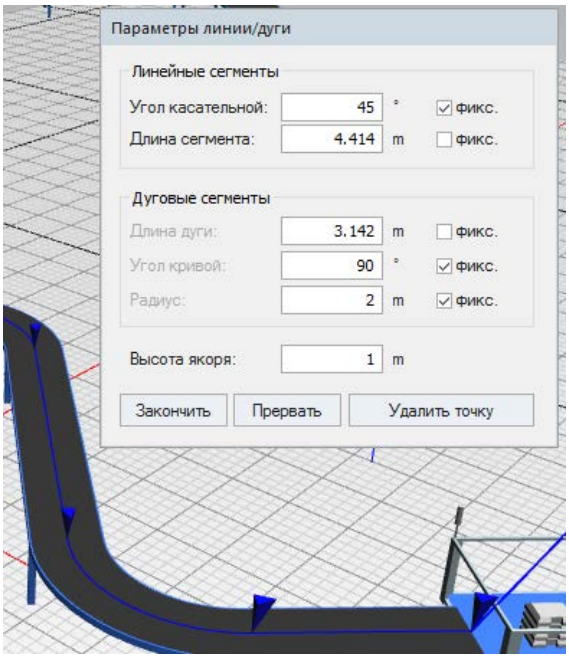


Рис. 4.117 Закінчення побудови конвеєрної лінії

Для того, щоб відобразити шлях траєкторії конвеєрної лінії, натискаємо правою клавішою на конвеєр та у вибраному вікні обираємо наступне (рис. 4.118): *«Сегменты» – «Показать»*

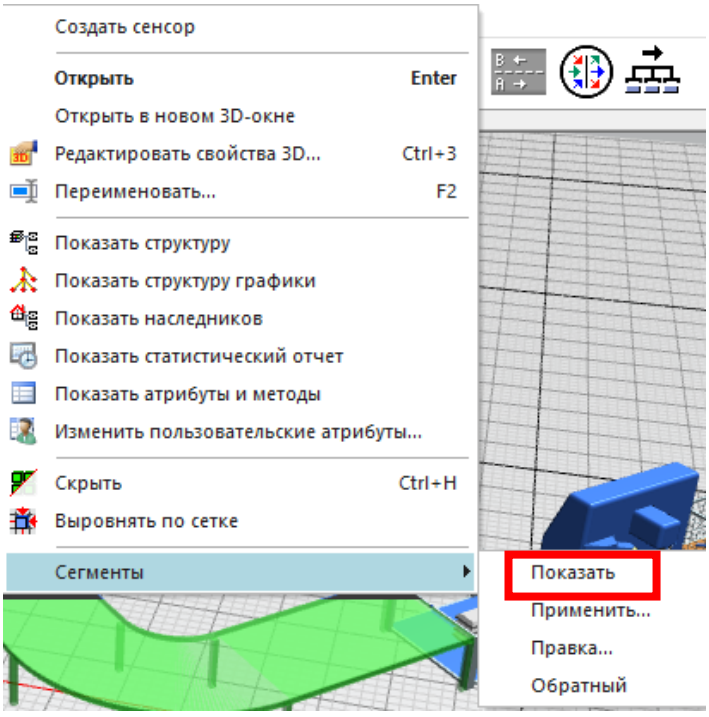


Рис. 4.118 Шлях відображення траєкторії конвеєрної лінії

Після появи зелених стрілок натиском лівої кнопки миші можна перетягувати та редагувати стрічку конвеєру для отримання найбільш оптимального положення (рис 4.119).

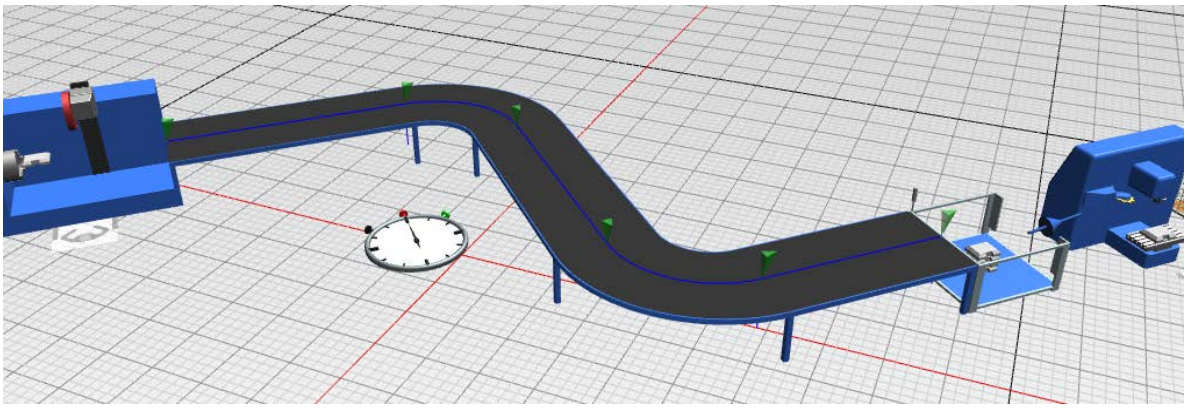


Рис. 4.119 Вигляд виділеної траєкторії для подальшої зміни

Для того, щоб задати висоту конвеєрної стрічки у відповідному положенні виділіть зелені стрічки у місцях, де потрібно задати висоту конвеєру, затисніть *«Ctrl»* та натискайте ↑ або ↓ для зміни висоти (рис. 4.120).

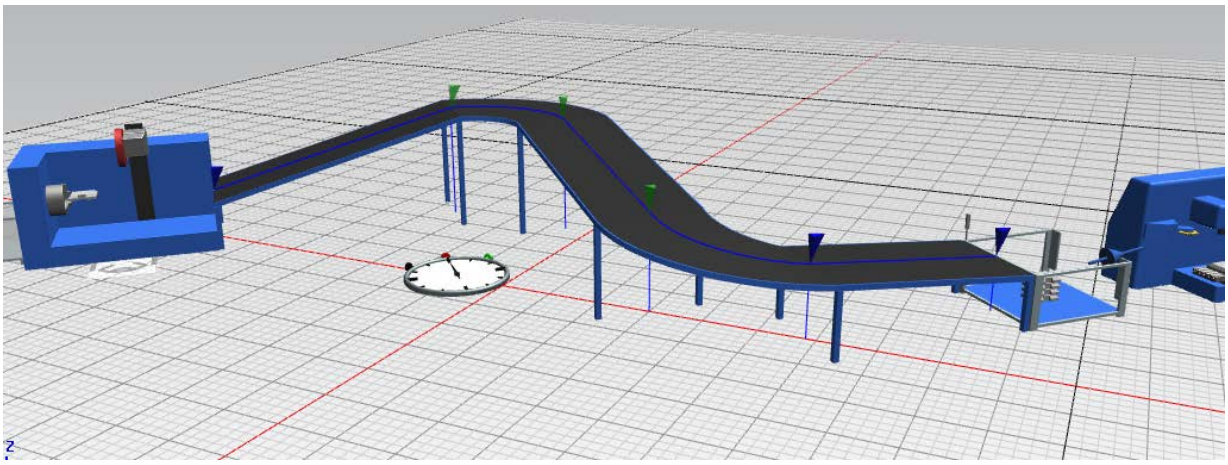


Рис. 4.120 Задання висоти конвеєру

Після отриманого результату відкриваємо *«Менеджер событий»*, скидаємо налаштування і запускаємо моделювання. Якщо все виконано вірно, то транспортною стрічкою будуть переміщуватись заготовки (рис. 4.121 та рис. 4.122)

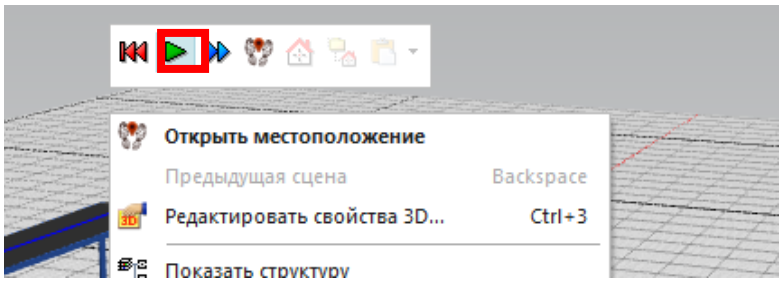


Рис. 4.121 Запуск імітації моделювання

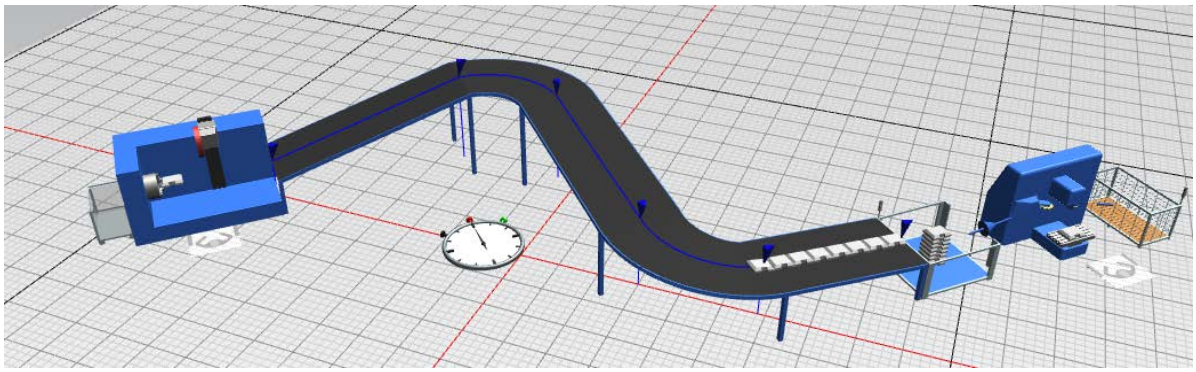


Рис. 4.122 Отриманий результат моделювання

Завдання

1. Отримати навички планування дільниці, де застосовується конвеєр.
2. Ознайомитись з функціями конвеєру.
3. На практиці закріпити отриманні знання, шляхом моделювання цеху.

Для виконання завдання роботи №8 буде потрібен файл створений у роботі №7.

Зміст протоколу

В протоколі навести фізичну модель виробничої лінії (у вигляді копії екрану). Висновки і пояснення. Додати файл імітаційної моделі виробничої лінії.

4.9 Знайомство з анімацією та 3D моделюванням виробничих процесів в програмі Tecnomatix Plant Simulation

Відкриваємо та запускаємо файл, який був збережений в минулій роботі (рис. 4.123)

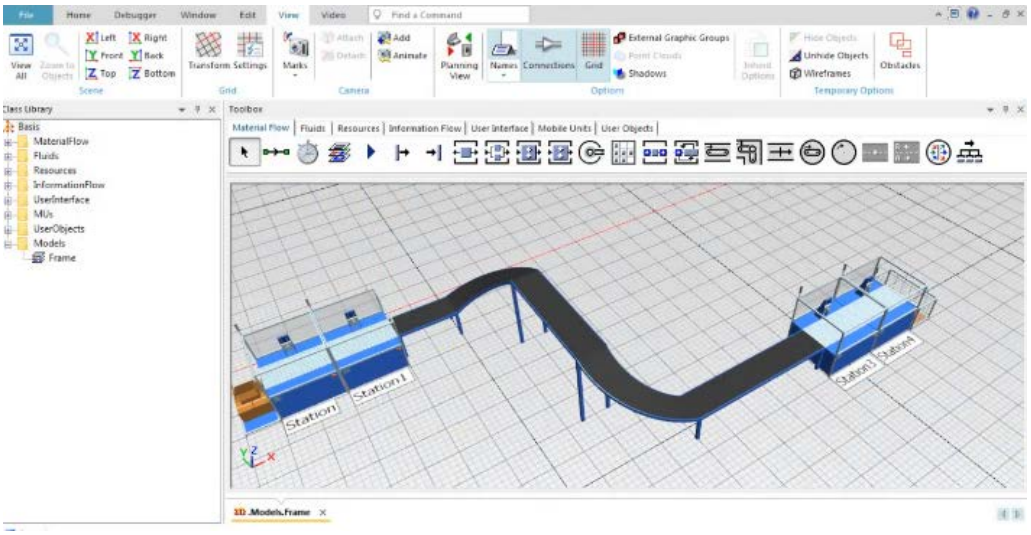


Рис. 4.123 Модель ділянки цеху з минулих робіт

У площині виробничої ділянки натискаємо ПКМ на *Station* і обираємо пункт «*Edit 3D Properties*» (рис. 4.124-4.125)

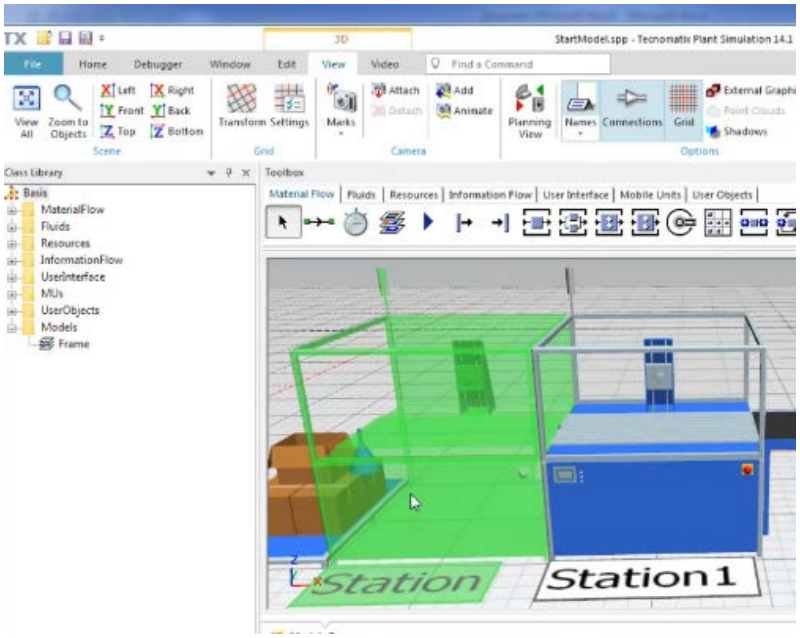


Рис. 4.124 Виділення Station

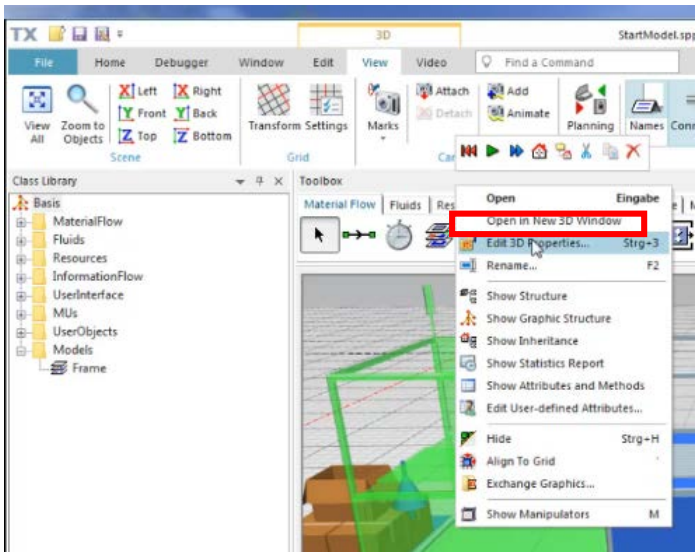


Рис. 4.125 Вибір редагування 3D характеристики станції

У відкритому вікні заходимо в вкладку *Mu Animation*, і в таблиці біля ім'я *«Default»* натискаємо на кнопку *Show* (рис. 4.126-4.127).

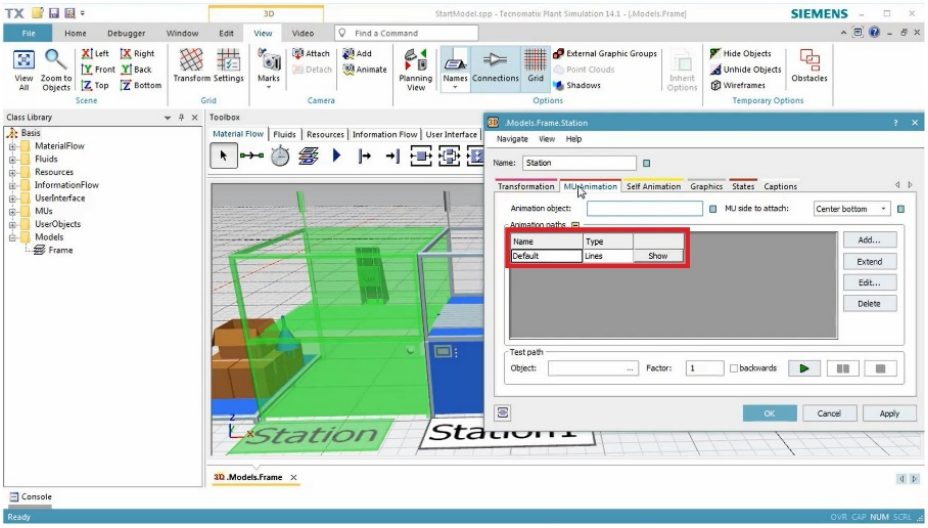


Рис. 4.126 Задання параметрів станції

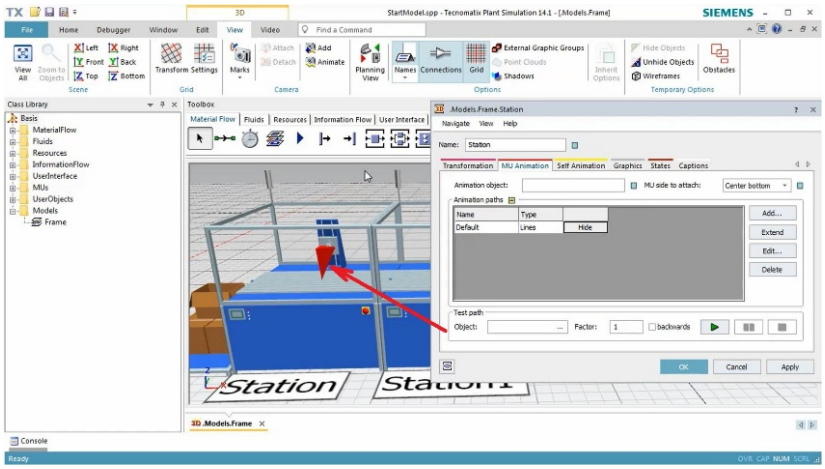


Рис. 4.127 Поява курсору на місці обробки заготовки

Після цих кроків з’являється червоний курсор на місці обробки заготовки. Затисненням *ЛКМ + Ctrl* можна перемістити заготовку. *Примітка! «CTRL + (SHIFT) + стрілка вправо/вліво обертає заготовку (на 45 градусів) навколо своєї осі» (рис. 4.128).*

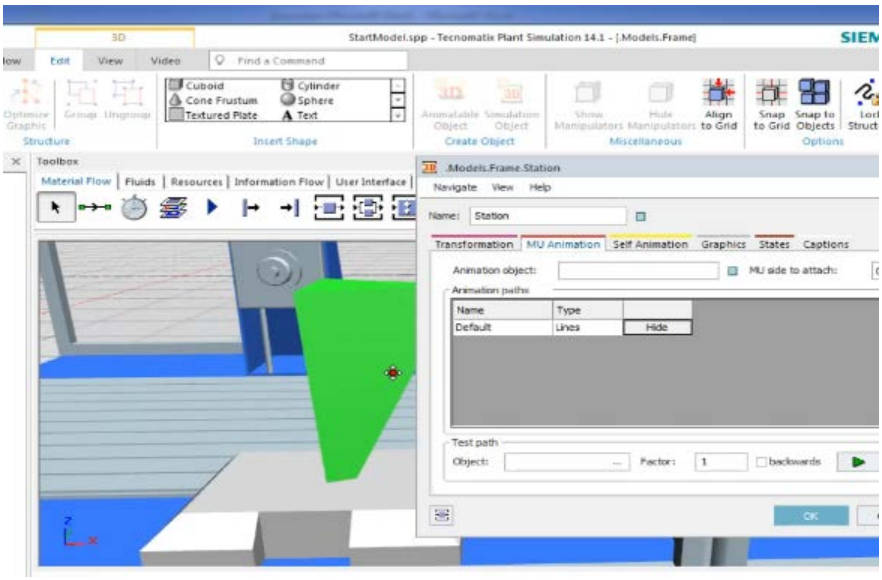


Рис. 4.128 Переміщена заготовка в довільному положенні

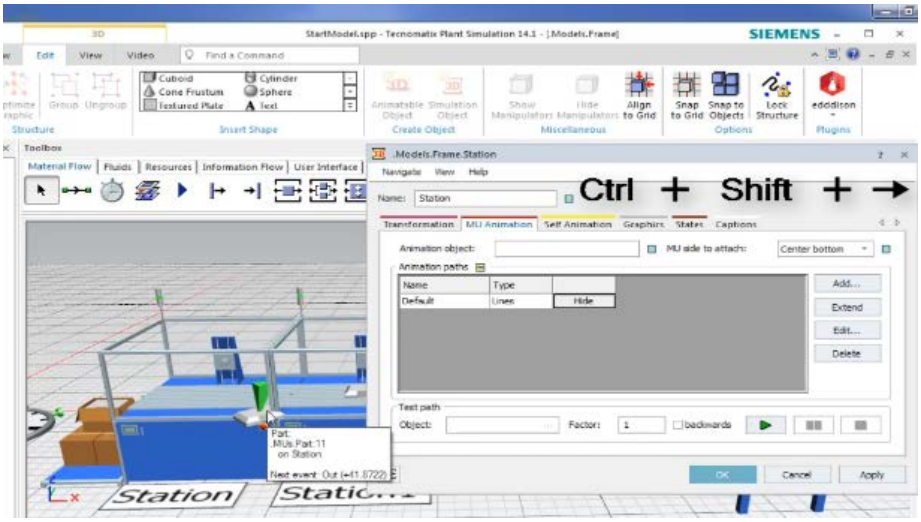


Рис. 4.129 Поворот заготовки навколо своєї осі на 45 градусів

Щоб редагувати 3D характеристики заготовки, натискаємо ПКМ на заготовці та обираємо *«Edit 3D Properties»* (рис. 4.130)

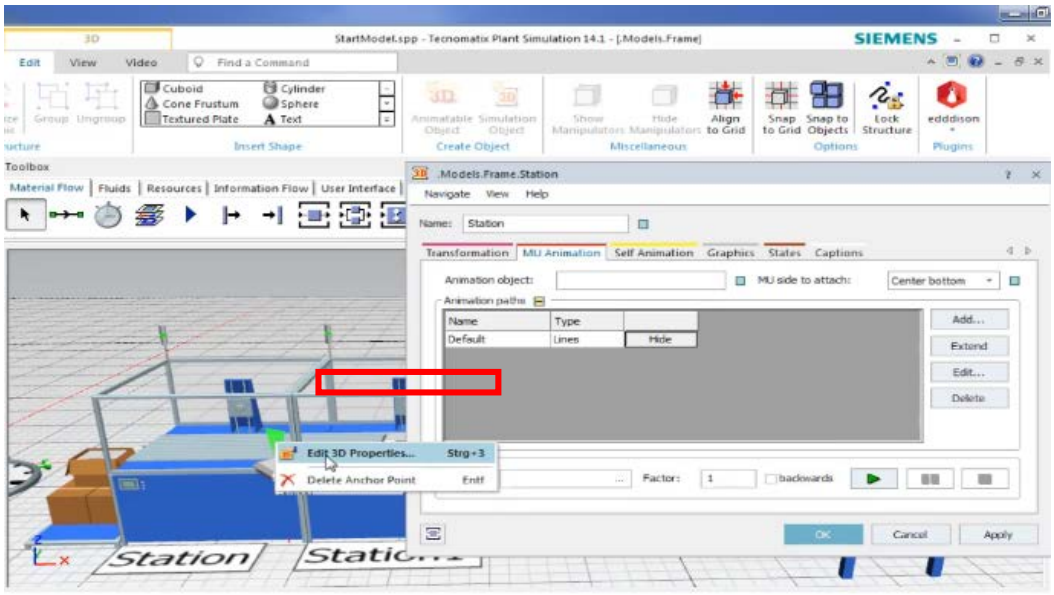


Рис. 4.130 Редагування 3D-характеристик заготовки

У відкритому вікні можна змінити орієнтацію заготовки за прив'язкою до системи координат, задавши відповідні координати *XYZ* (рис. 4.131-4.132).

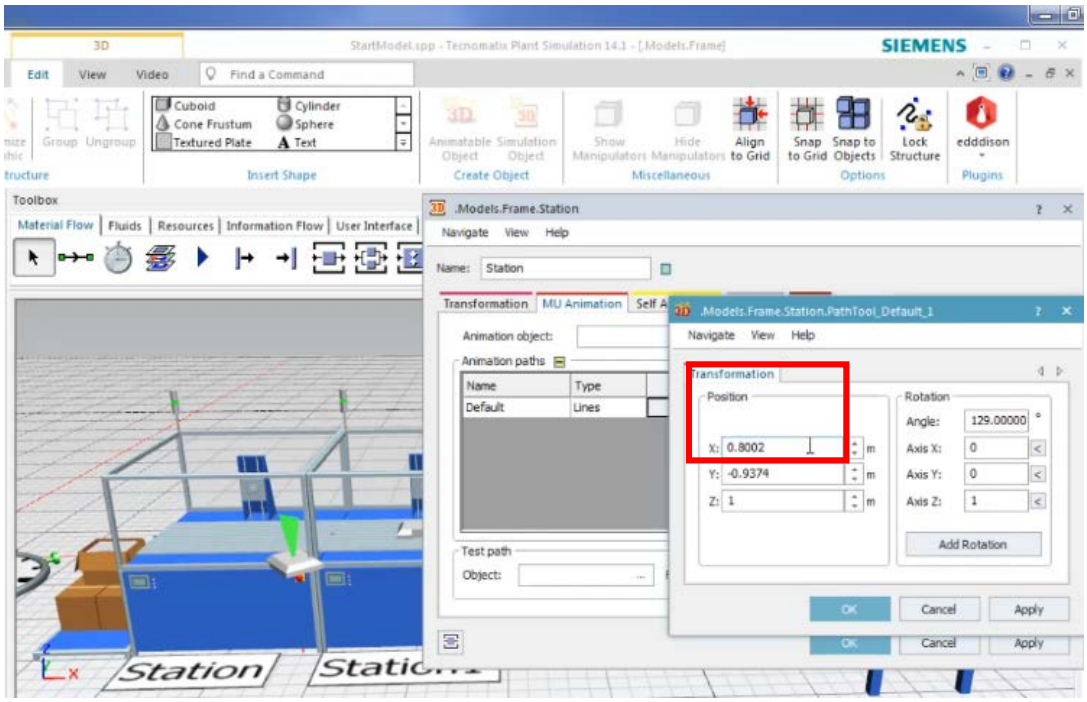


Рис. 4.131 Редагування положення заготовки по координатах

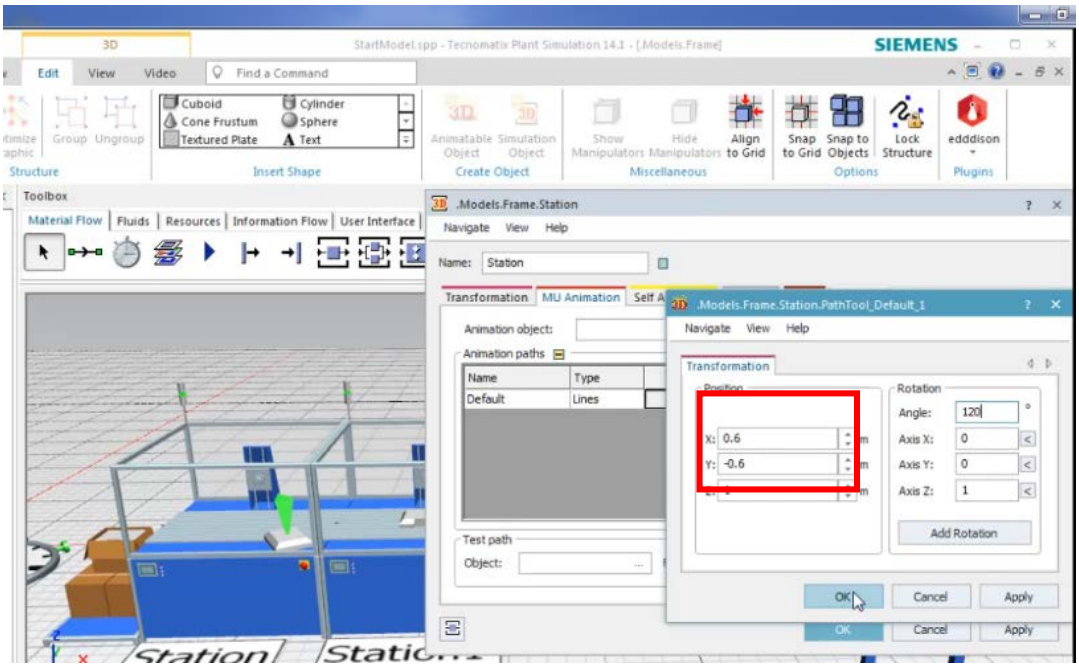


Рис. 4.132 Змінені положення координат заготовки

Щоб перевірити збереження наших характеристик та змін у положенні та орієнтації заготовки запускаємо симуляцію.

Після запуску симуляції видно, що заготовка з'являється у заданому положенні, а отже виконані дії правильні (рис. 4.133).

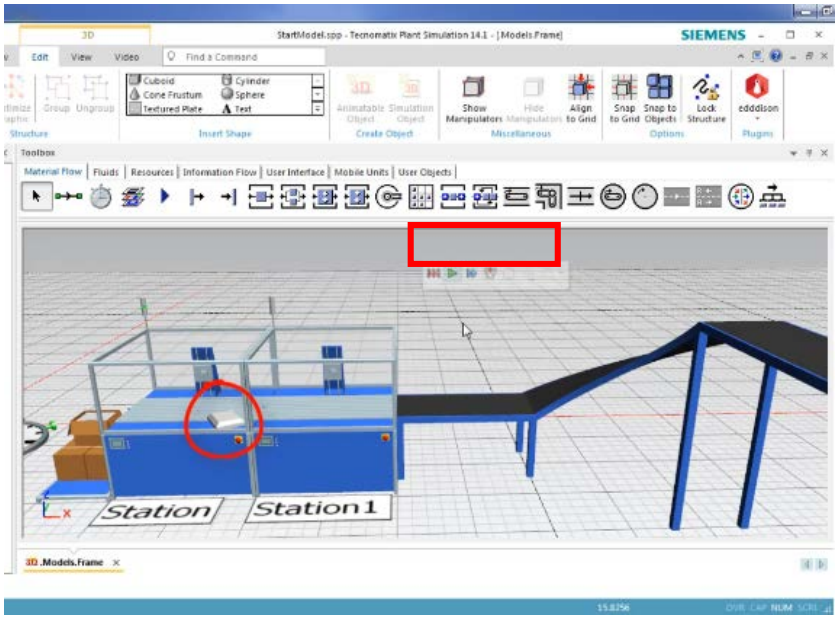


Рис. 4.133 Збережене положення заготовки

Для того, щоб змінити заготовку, яка буде переміщуватися виробничою лінією, наприклад в якомусь контейнері, робимо наступні дії:

Відкриваємо папку *MUs* в «*Class Library*» та обираємо «*Container*» – натискаємо на нього ПКМ та обираємо *Dublicate (рис. 4.134).*

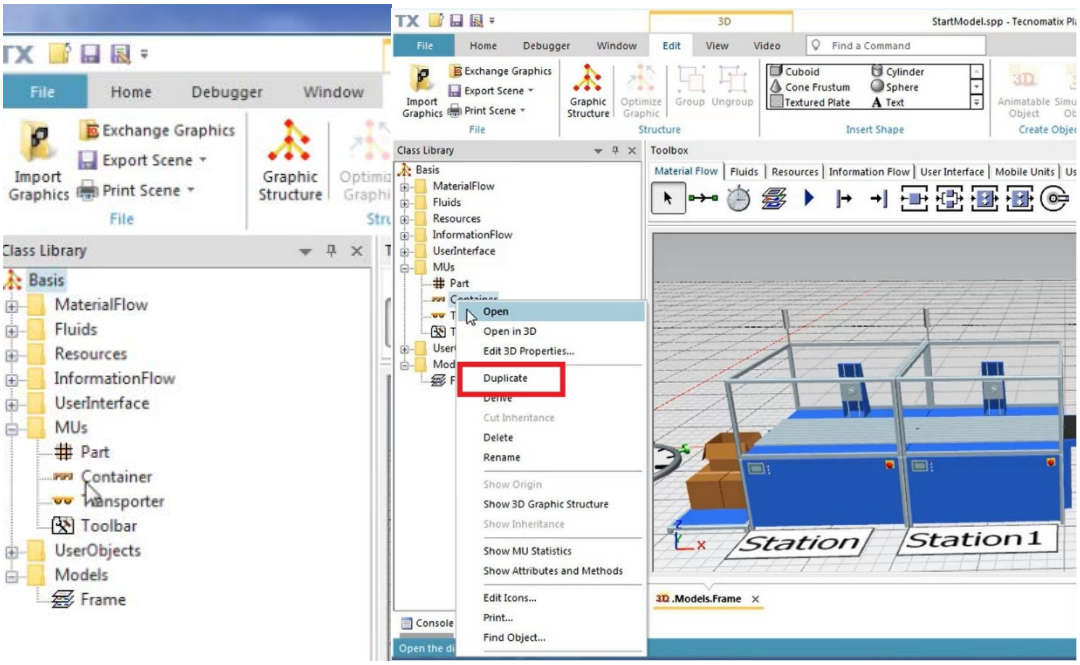


Рис. 4.134 Створення Dublicate контейнера

Відкриваємо *Container 1*, з'являється вікно, у цьому вікні можна задати та змінити розміри необхідного контейнера. Для цього потрібно змінити відповідні параметри в вкладці *Attributes* (рис. 4.135).

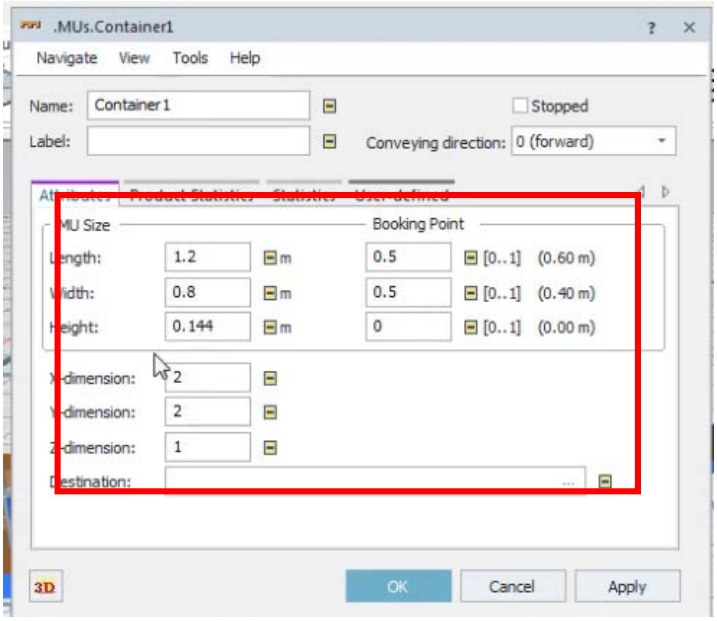


Рис. 4.135 Зміна параметрів необхідного контейнера

Щоб відкрити контейнер у 3D, потрібно натиснути ПКМ на «*Container 1*», після чого обрати пункт *відкрити в 3D* – натиснути «*Export Scene*» та обрати шлях до потрібного нам файлу (рис. 4.136).

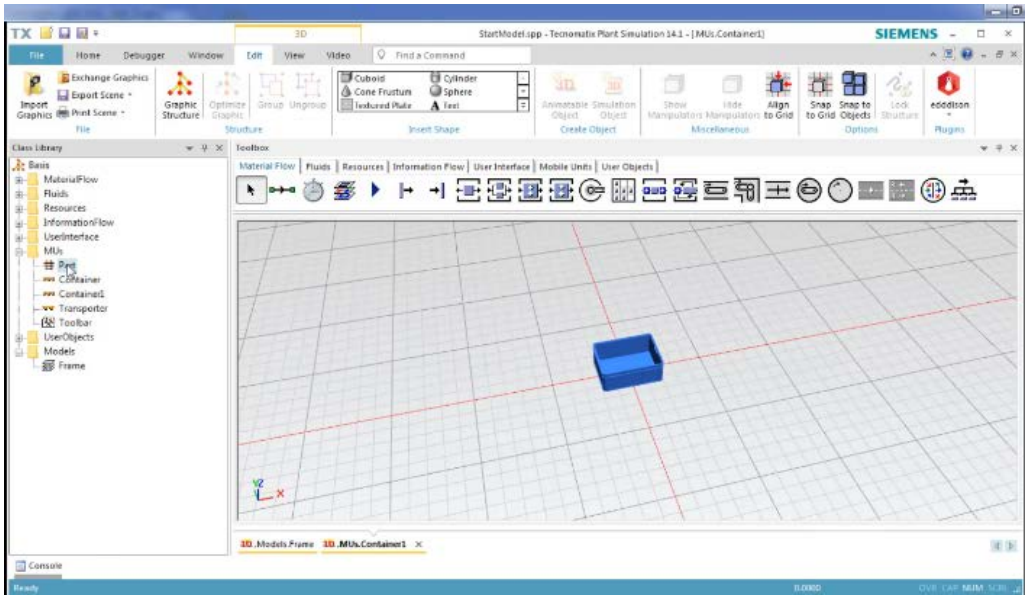


Рис. 4.136 Результат експорту

Для того, щоб створити заготовку, яка буде міститись в контейнері, натискаємо ПКМ на *Part* та обираємо *Dublicate*, натискаємо ПКМ на *Part1* та *обираємо відкрити у 3D* – двічі натискаємо ЛКМ на *Cylinder* та задаємо характеристики заготовки, у даному випадку радіус заготовки та висоту (рис. 4.137).

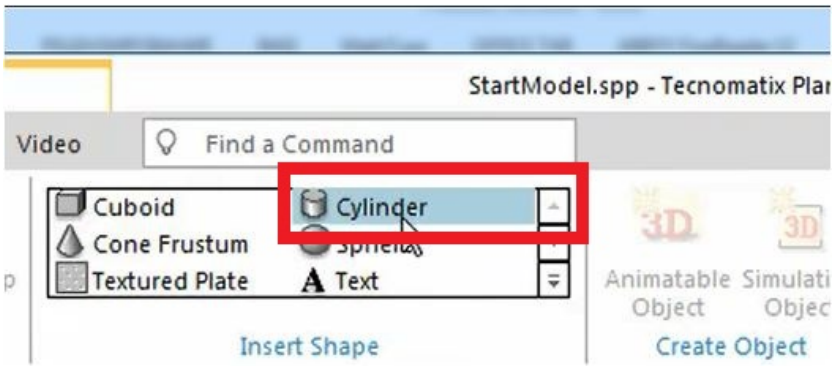


Рис. 4.137 Створення циліндра

Орієнтуємо циліндр в будь-якій точці, натискаємо ПКМ на циліндр та відкриваємо *3Д налаштування* – натискаємо *Tools* та обираємо останній пункт «*Calculate dimensions from 3D – Apply – OK*».

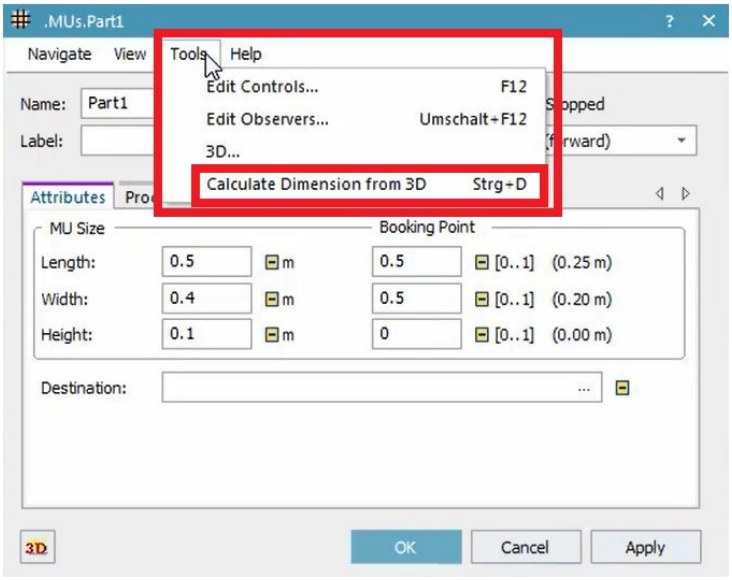


Рис. 4.138 Розрахунок заготовки з 3D

Орієнтуємо *Container1* на *Station1*, натиснувши ЛКМ (рис. 9.17)

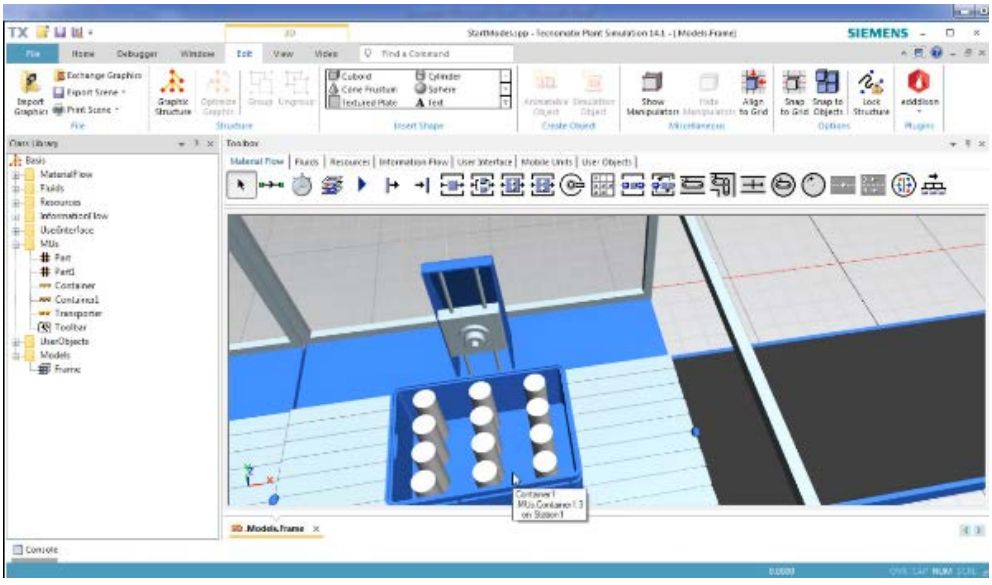


Рис. 4.138 Отриманий результат моделювання контейнера та заготовки

Щоб змінити властивості контейнеру із заготовками, натискаємо ПКМ на контейнер – обираємо *Edit 3D Properties (рис. 4.139)*

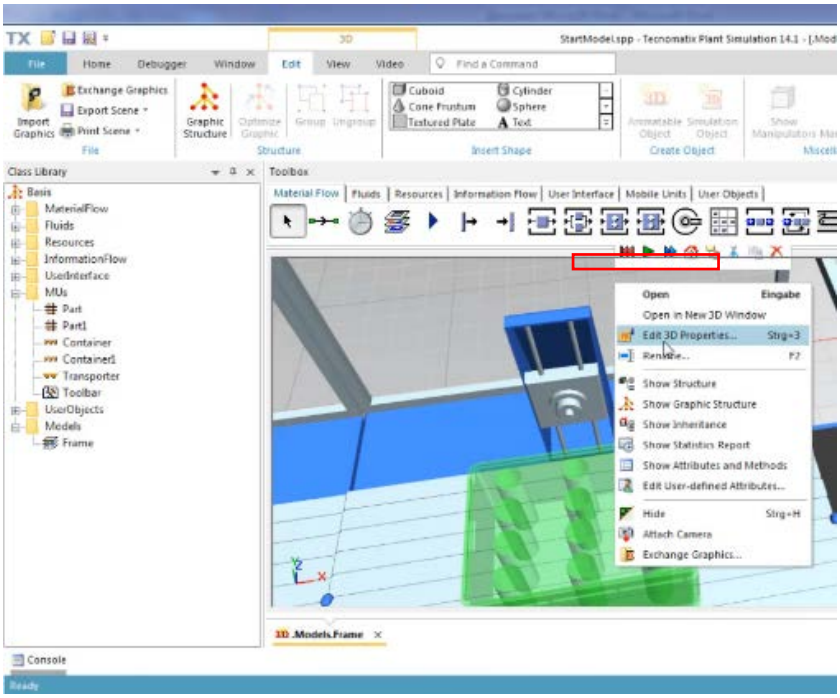


Рис. 4.139 Відкриття властивостей контейнеру із заготовками

У відкритому вікні маємо можливість змінити положення центра контейнера із заготовками в системі координат, задавши ці координати (рис 4.140).

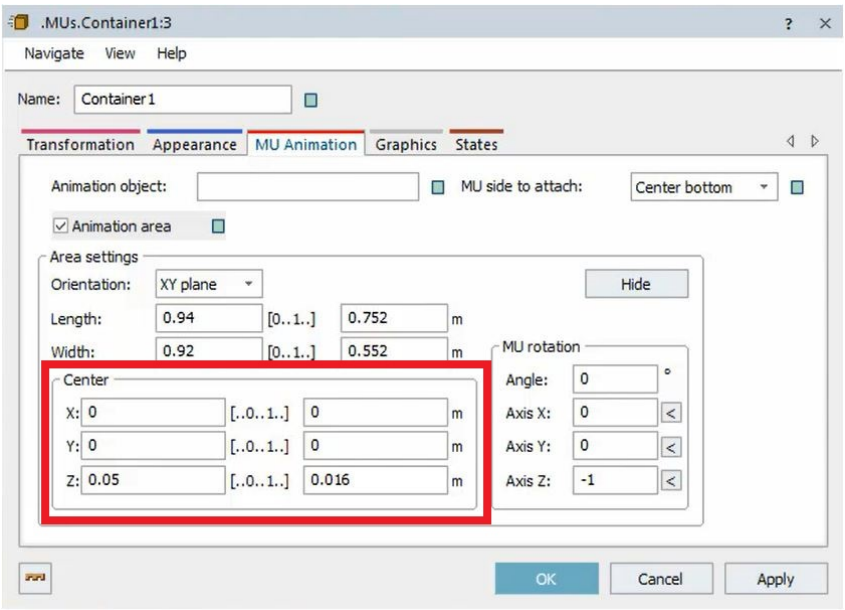


Рис. 4.140 Задані значення положення центра контейнера

Запускаємо симуляцію, далі натискаємо ПКМ на конвеєрі та обираємо «*Edit 3D properties*» (рис. 4.141).

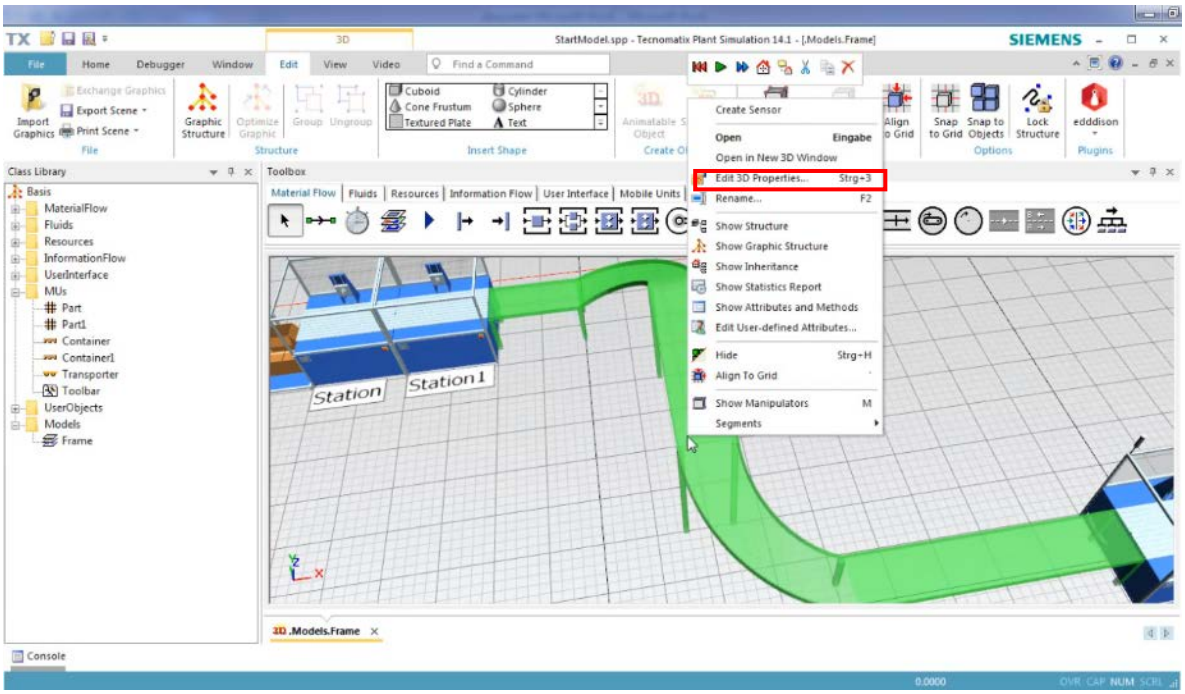


Рис. 4.141 Загальний вигляд цеху

В меню налаштувань обираємо вкладку «*Times*» та змінюємо час, який дорівнює 10 годинам «*Station 1*».

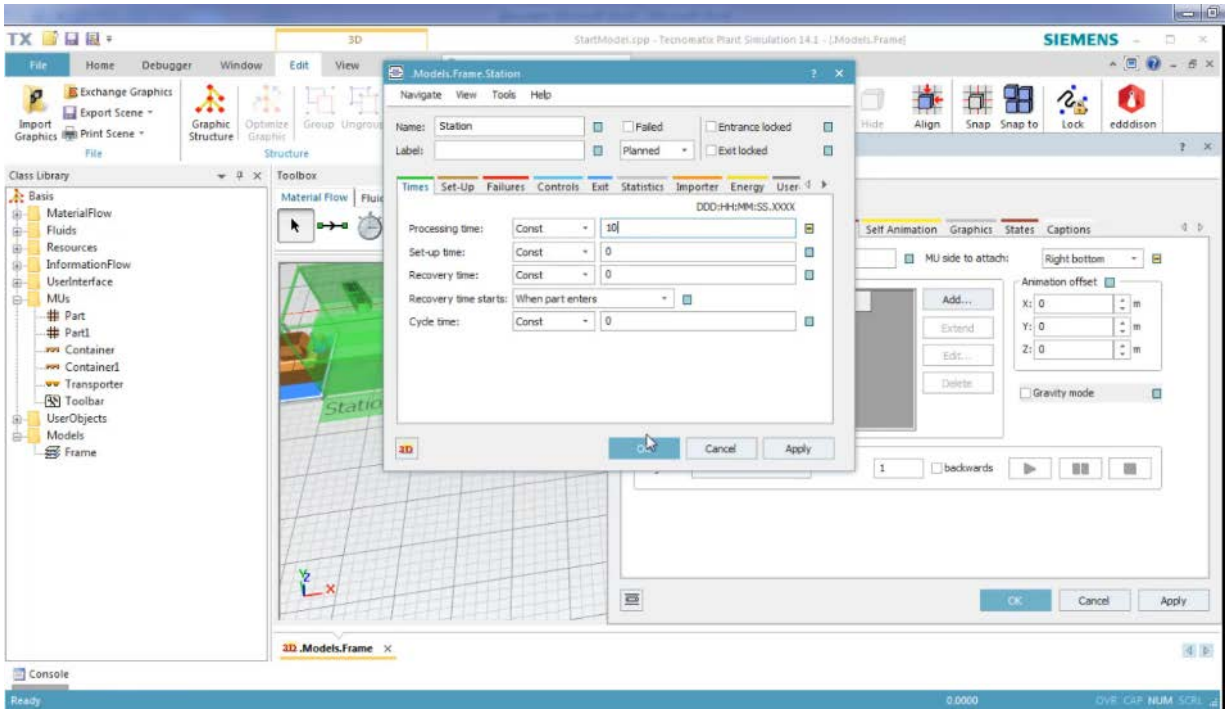


Рис. 4.142 Задання часу

Знову запускаємо симуляцію, далі натискаємо ПКМ на *Sourse* та відкриваємо вкладку *Control* – прописуємо відповідний код та запускаємо нашу лінію знову (рис. 4.143 та рис. 4.144).

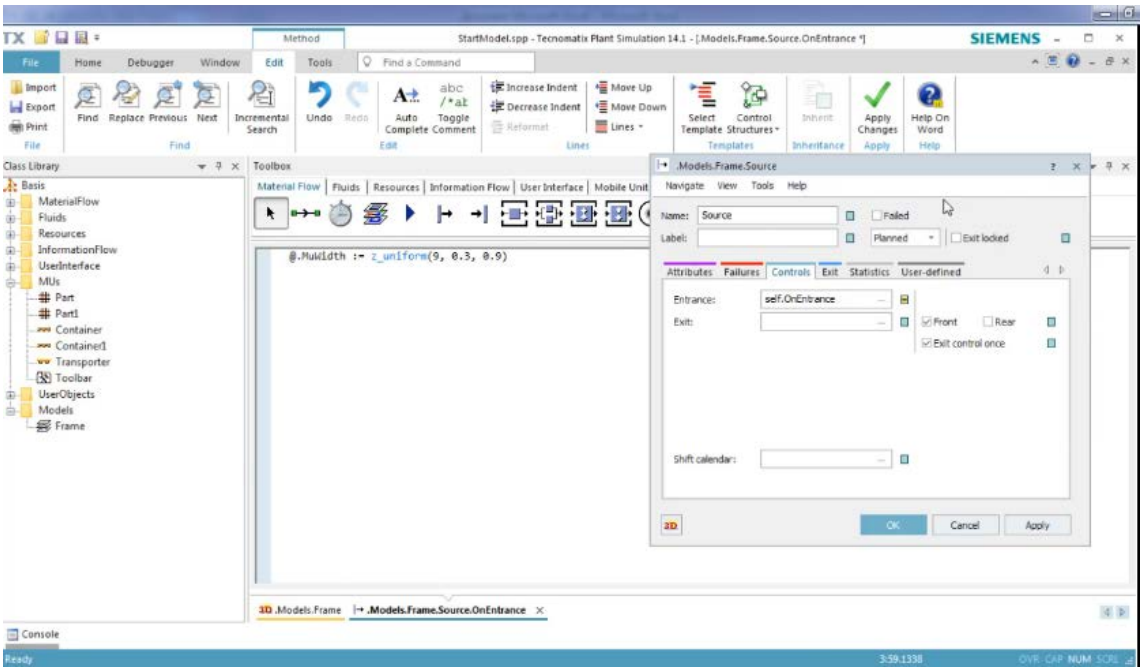


Рис. 4.143 Відповідно прописаний код

В результаті можемо спостерігати, що всі станції на лінії працюють, заготовка з’являється у заданому нами положенні, контейнер та працююча лінія, все виробництво підкорюється *Processing Time* = 10h (рис. 4.144).

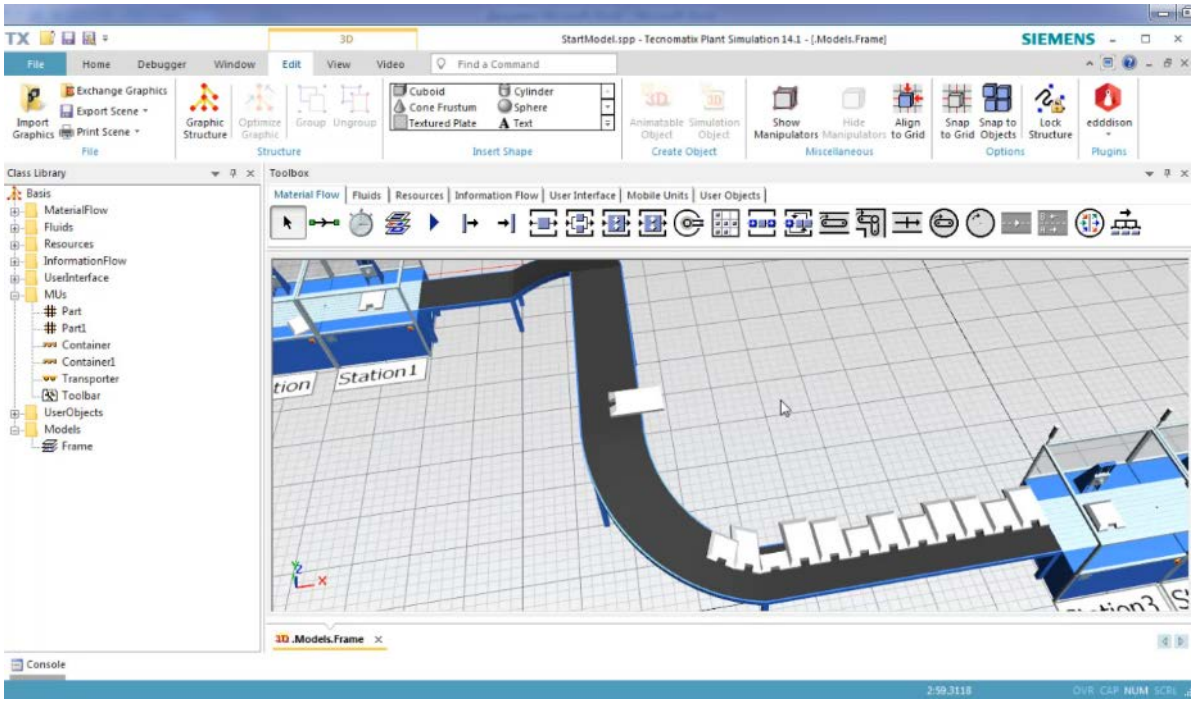


Рис. 4.144 Результат роботи

Завдання

Ознайомитися з інструментами анімації і 3D моделюванням в програмі *«Tecnomatix Plant Simulation»*.

Для виконання завдання роботи використовується модель, яка була побудована в минулих роботах.

Зміст протоколу

В протоколі навести фізичну модель виробничої лінії (у вигляді копії екрану). Висновки і пояснення. Додати файл імітаційної моделі виробничої лінії.

4.10 Створення моделі в ієрархічному порядку

Створюємо модель в ієрархічному порядку. Для цього ми створюємо нову імітаційну модель в 3D. На першому етапі ми створюємо власну станцію обробки, відкриваємо папку об'єктів користувача рис.4.145.

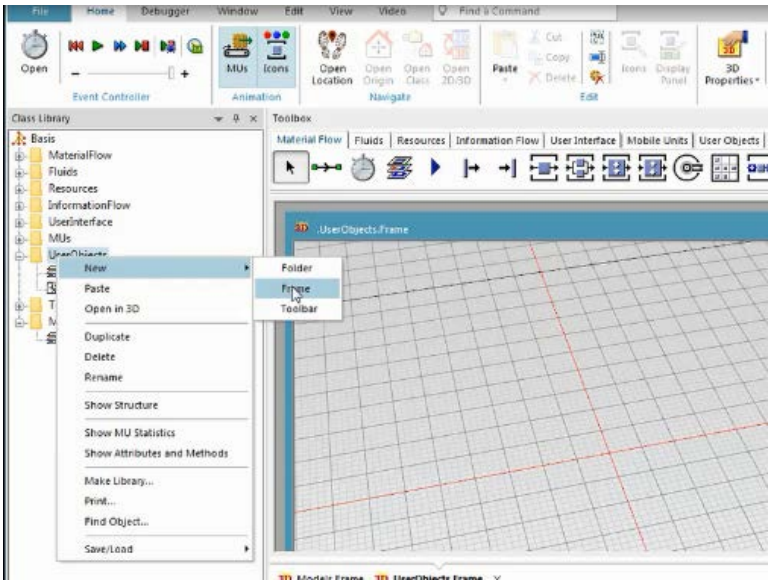


Рис. 4.145 Створення нового Frame в папці UserObjects

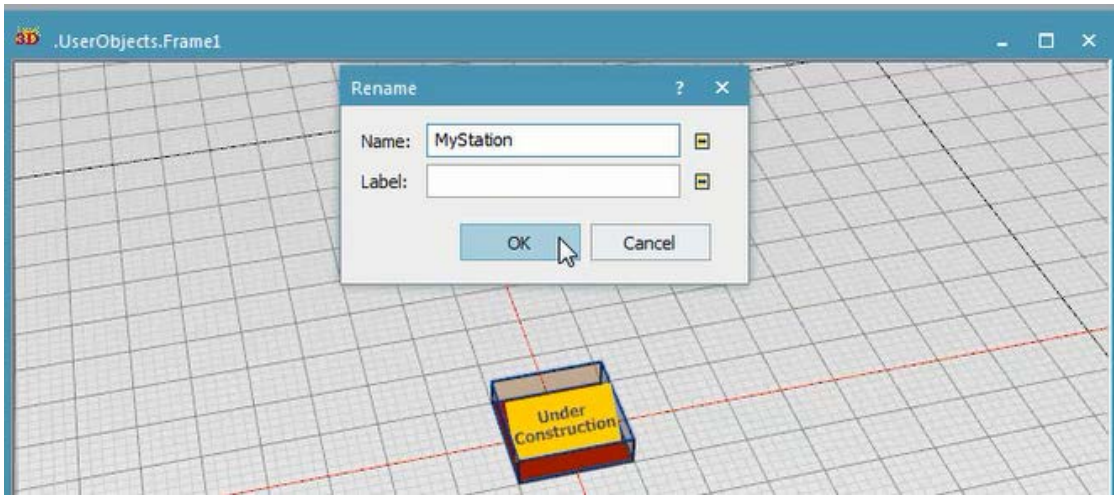


Рис. 4.146 Перейменування Frame

Ми вставимо станцію в буфері, щоб поєднати станцію з іншими станціями, з'єднати інтерфейси з буферами. Потім ми створюємо захисну огорожу навколо нашої моделі, у вкладці редагування стрічки, вибираємо *«Fense»* рис.4.147.

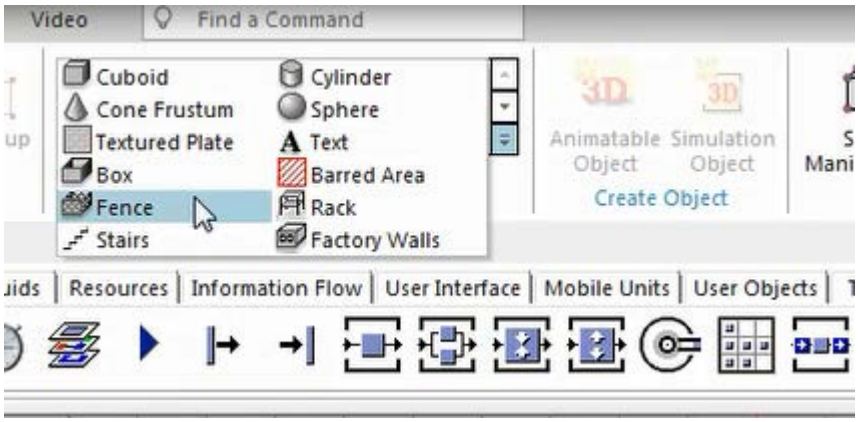


Рис. 4.147 Вибір огорожі

Створюємо огорожу розміром 6×3 м. Для цього вводимо дані, після чого натискаємо кнопку *«Створити»* рис.4.148.

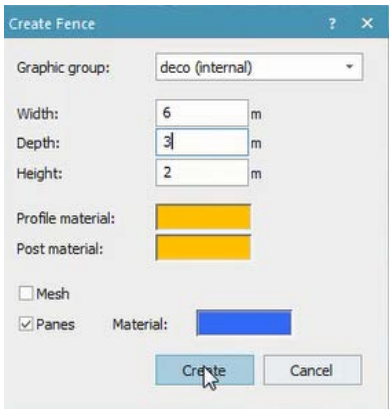


Рис. 4.148 Задання параметрів огорожі

Огорожа повинна розташовуватися навколо своєї станції.

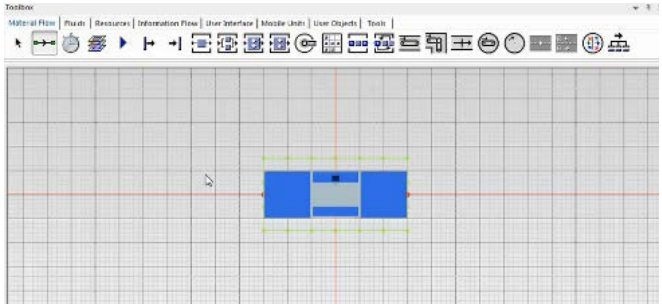


Рис. 4.149 Зображення огорожі у 2D

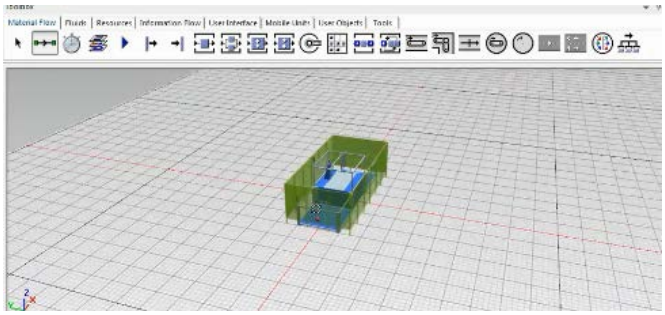


Рис. 4.150 Зображення огорожі у 3D

Нам потрібно отримати отвір в огорожі. Перейдемо до графічного зображення, яке нам потрібно, натискаємо клавішу *«плюс»*. Виділяємо непотрібні секції з обох сторін і видаляємо їх.

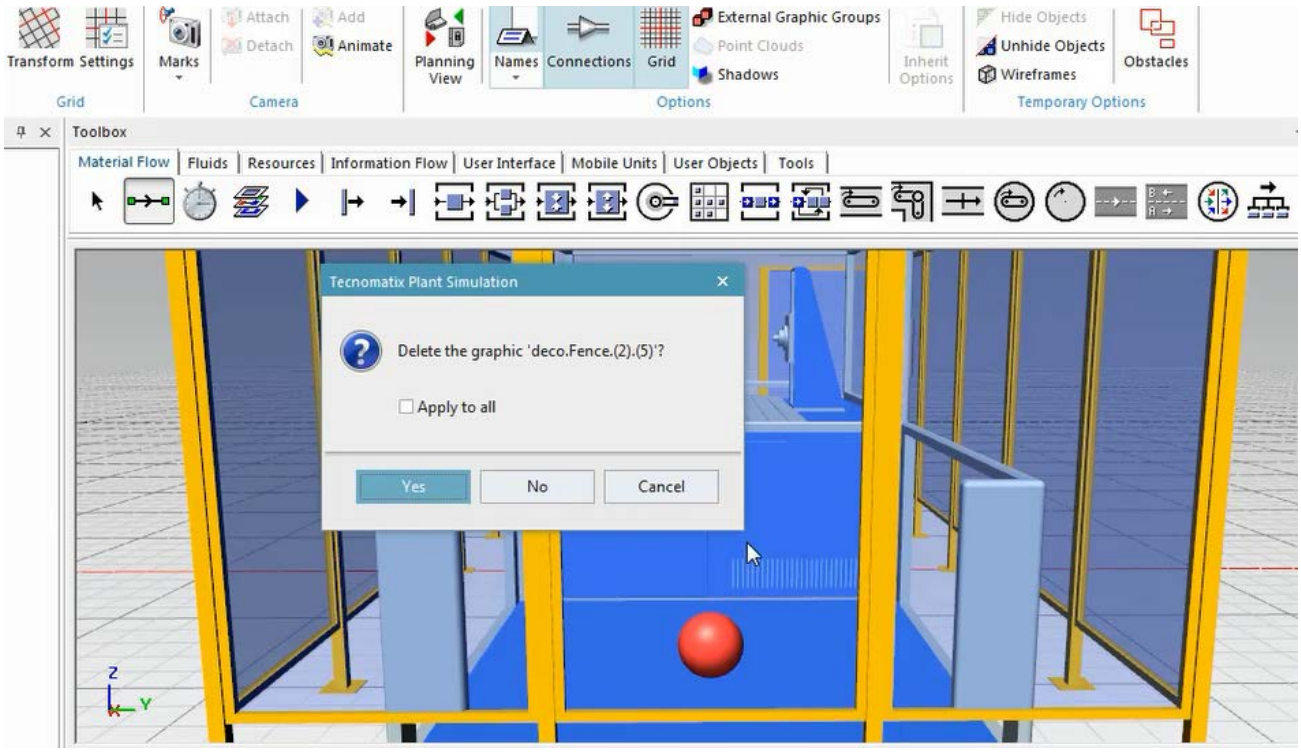


Рис. 4.151 Видалення частини огорожі

Додаємо додаткові об'єкти на наших станціях, наприклад, таблицю об'єктів, які бажаємо змінювати та ін. Натискаємо праву кнопку миші на об’єкт, щоб відкрити контекстне меню «*Frame*», і вибираємо *«Редагувати 3D-властивості» на рис 4.152*.

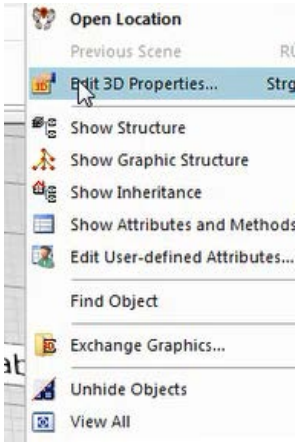


Рис. 4.152 Вибір «Edit 3D Properties»

Переходимо на вкладку «*Graphics*» в діалоговому режимі.

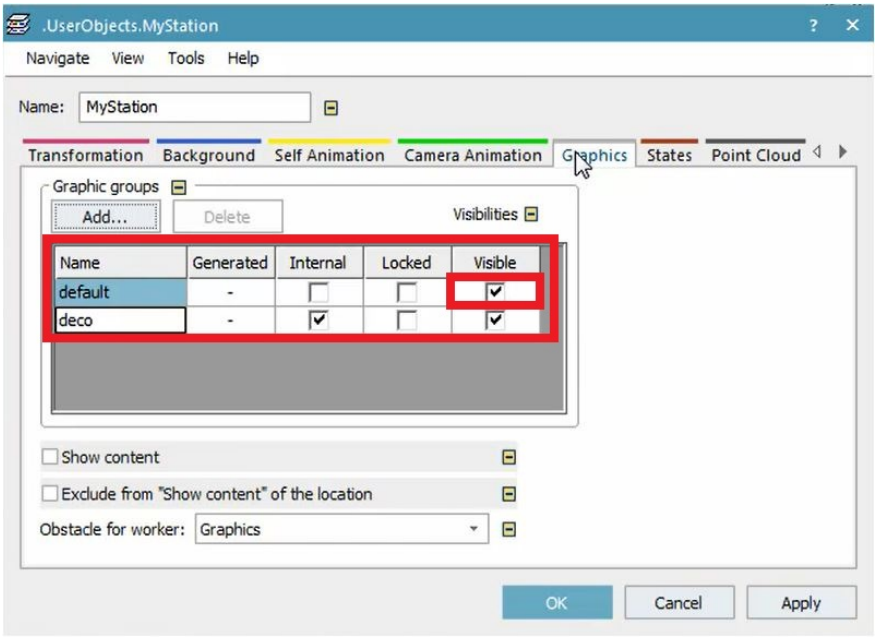


Рис. 4.153 Вкладка «Graphics»

Прапорець в графі «*Visible*» потрібен для того, щоб ми могли побачити вміст «*Frame*» або ні. Коли вставимо станцію, ми хочемо побачити об'єкти потоку матеріалу, але не об'єкти потоку інформації. І видимість об'єктів можна визначити індивідуально для кожного об'єкта. Відкрийте діалогове вікно 3D-властивостей об'єкта (*Table File*) і перейдіть до вкладки «*Graphics*», в нижній частині діалогового вікна, в якому ми бачимо пункт *Show content*, який визначає: об'єкт видимий або не видимий. Коли «*Exclude from show content of the location*» помічений прапорцем, то за замовчуванням прапорцем помічено для всіх об'єктів інформаційного потоку.

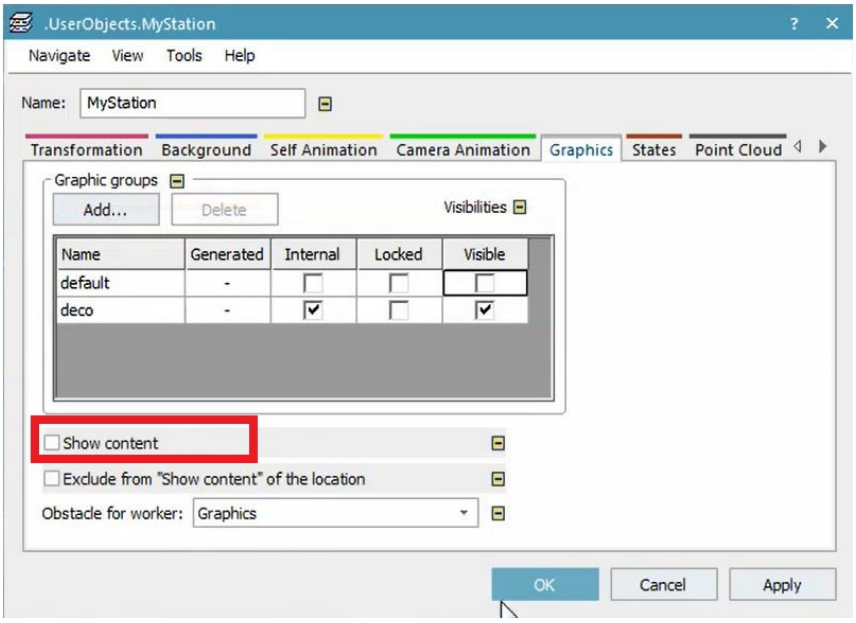


Рис. 4.154 Прибираємо прапорець з пункту Show content

Ми можемо додати *«Display»*, який відображатиме кількість вироблених деталей. За допомогою миші виділяємо станцію, призначену для відображення статистики на екрані, та перетягуємо на поле *Display*. Щоб відкрити статистику, вкажіть текстове поле.

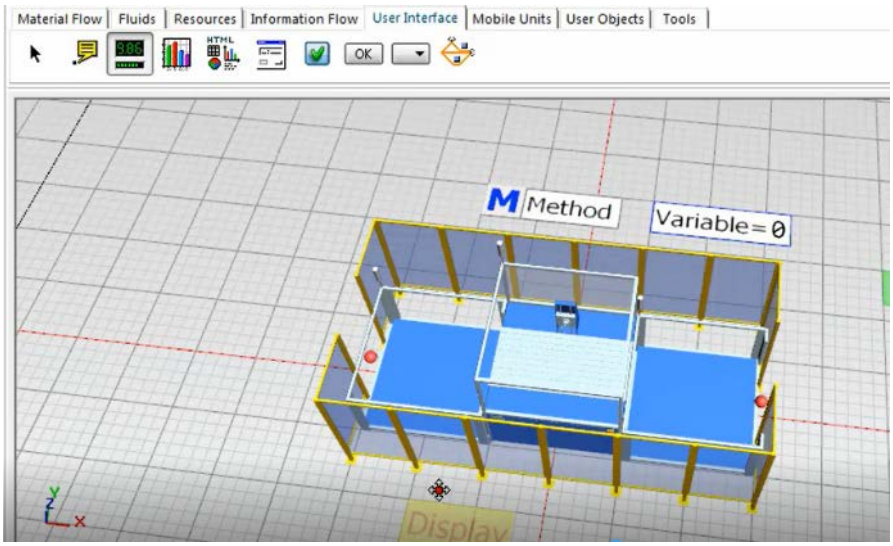


Рис. 4.155 Встановлення «Display»

Можна редагувати властивості дисплею. У діалоговому вікні задаємо параметри положення, можна змінювати відстань та кут повороту.

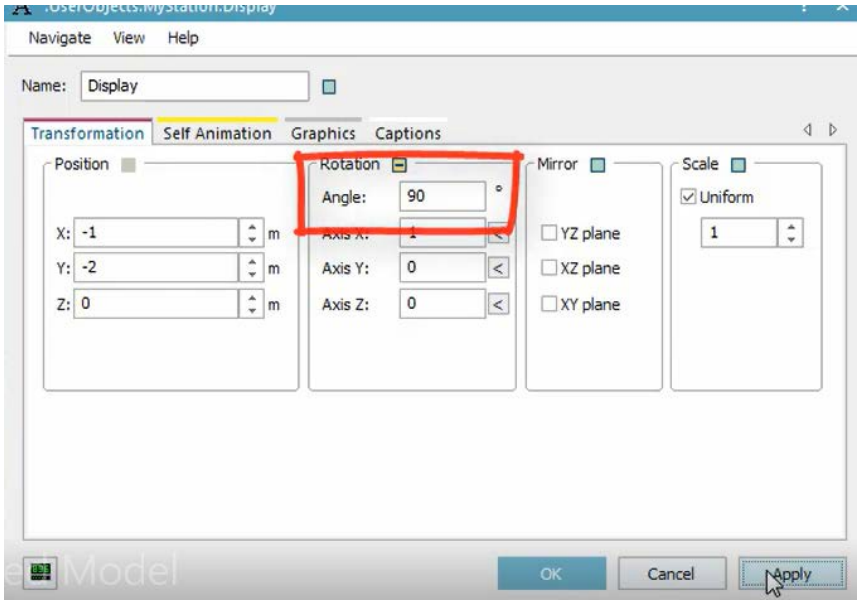


Рис. 4.156 Зміна кута повороту

Намагаємося розташувати дисплей безпосередньо перед огорожею. Для цього потрібно встановити курсор у відповідному текстовому полі, натиснути клавішу *«Ctrl»* й крутити колесо миші.

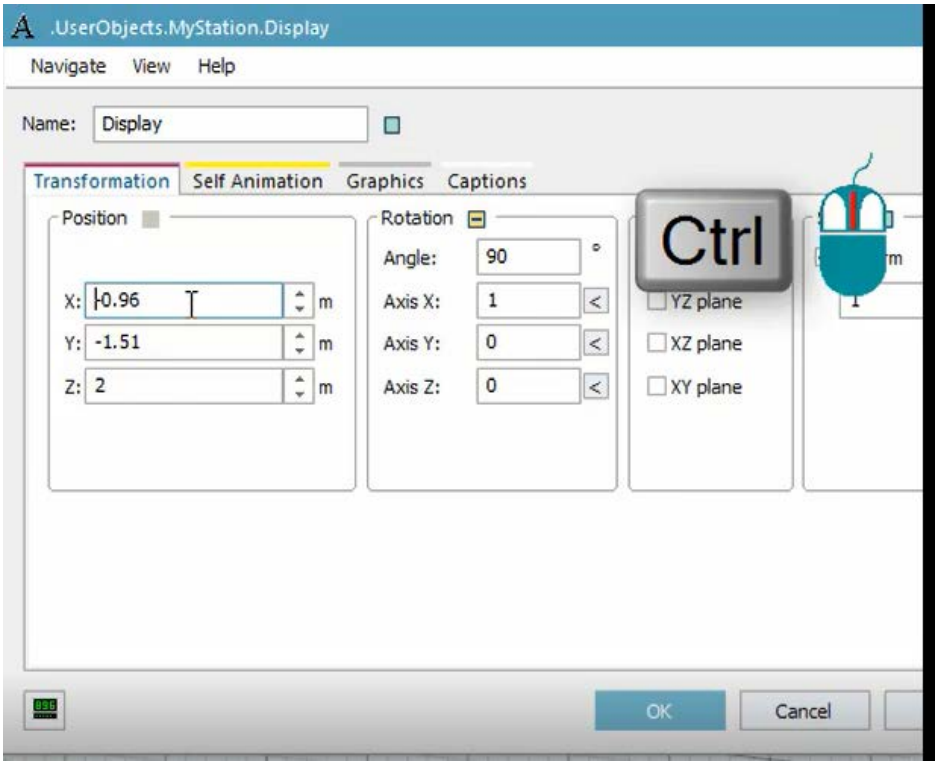


Рис. 4.157 Вкладка «Transformation»

Перейдемо на вкладку *«Graphics»* і видалимо позначку навпроти *«Exclude from show content of the location»*, після чого створимо виробничу лінію, використовуючи складові нашої станції рис.4.158.

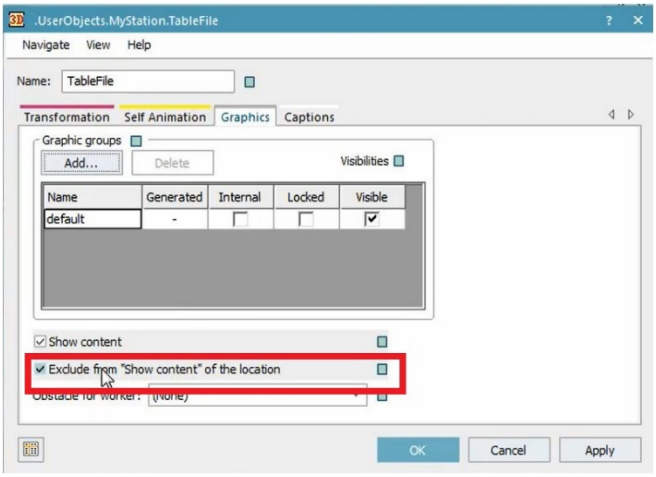


Рис. 4.158 Видалення позначки навпроти виділеного пункту

Спочатку додаємо станцію у вкладку «Material Flow» на панелі інструментів.

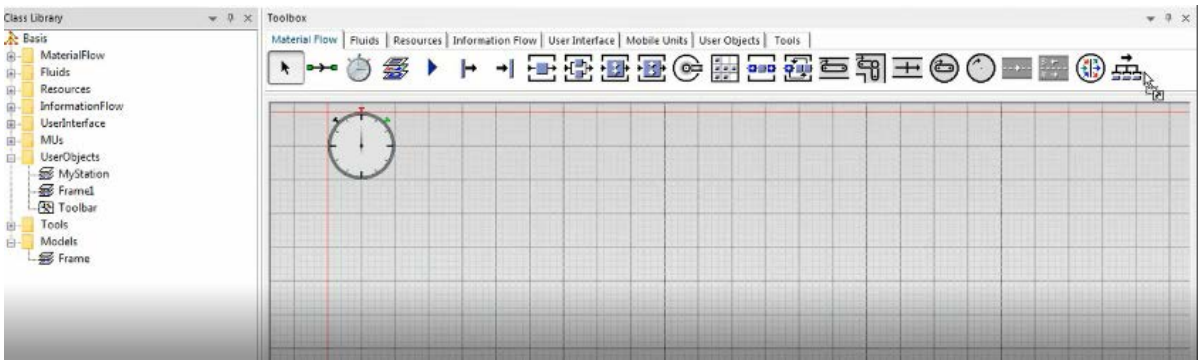


Рис. 4.159 Створення нової станції

Обираємо нашу станцію, натискаємо клавішу *«Ctrl»* та вставляємо копіюванням декілька станції. Вони вже будуть автоматично підключені.

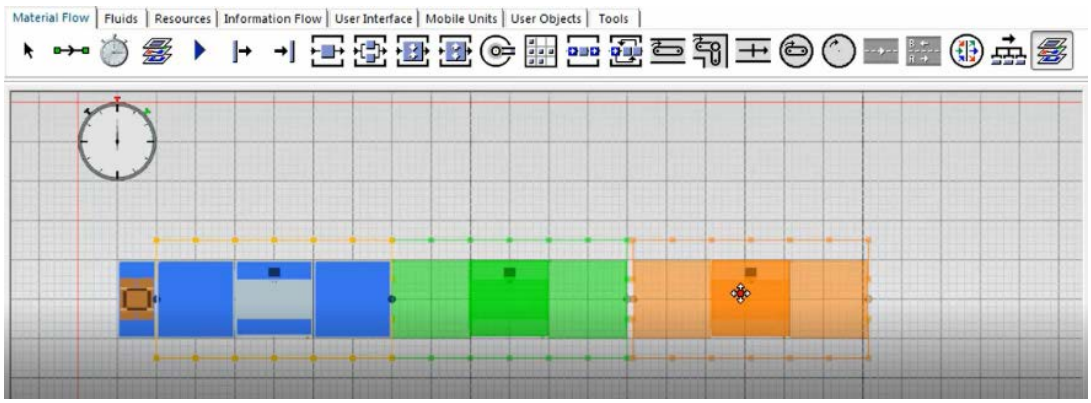


Рис. 4.160 Послідовно розміщені станції

Запускаємо симуляцію. На дисплеї відображається кількість деталей, виготовлених на станціях рис.4.161.

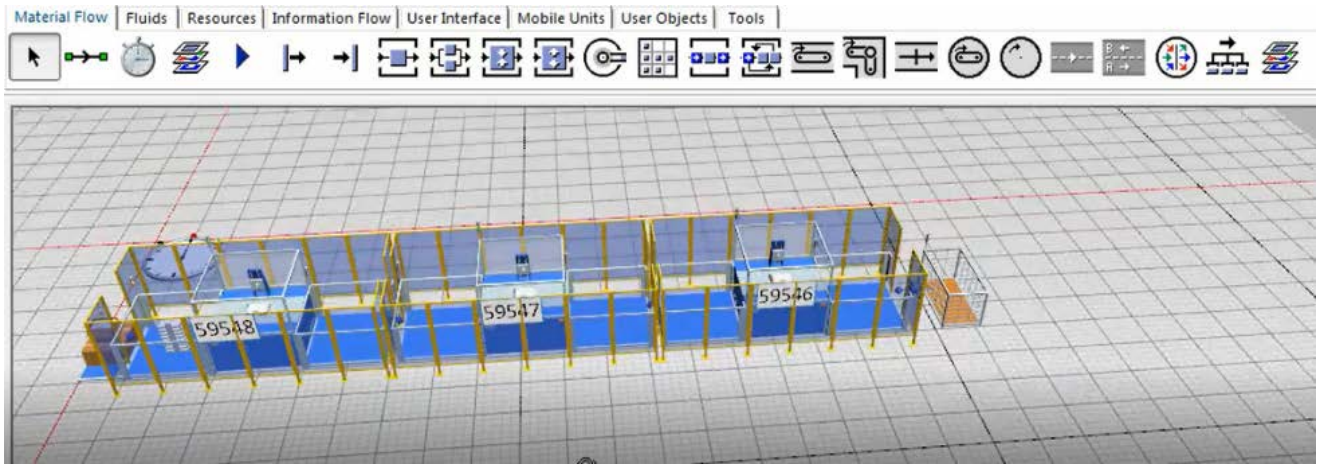


Рис. 4.161 Відображення кількості деталей на станціях

Завдання

1. Розглянути методику створення моделей в ієрархічному порядку.
2. Засвоїти методику створення моделей в ієрархічному порядку.
3. Практично виконати лабораторну зі створення моделей в ієрархічному порядку

Таблиця 4.8 Вихідні дані

Перша цифра	Кількість верстатів для операції №1, шт.	Час операції №2, год.	Друга цифра	Вміст буфера для операції №2, шт.	Розмір партії, шт.
0	1	1,1	0	20	1000
1	2	2,5	1	5	500
2	3	0,25	2	30	250
3	2	0,1	3	15	850
4	3	1	4	10	280
5	1	1,2	5	8	100
6	2	3	6	12	150
7	3	0,5	7	30	50
8	1	1,1	8	15	1500

Зміст протоколу

В протоколі навести фізичну модель виробничої лінії (у вигляді копії екрану). Висновки і пояснення. Додати файл імітаційної моделі виробничої лінії.

4.11 3D: анімовані об’єкти

У дереві «*Class Library*» відкриваємо папку «*UserObjects*» та натискаємо двічі лівою кнопкою миші для переходу. Додаємо «*Station*» і два «*Interface*», послідовно з’єднуючи їх за допомогою «*Connector*» (Рис.4.162).

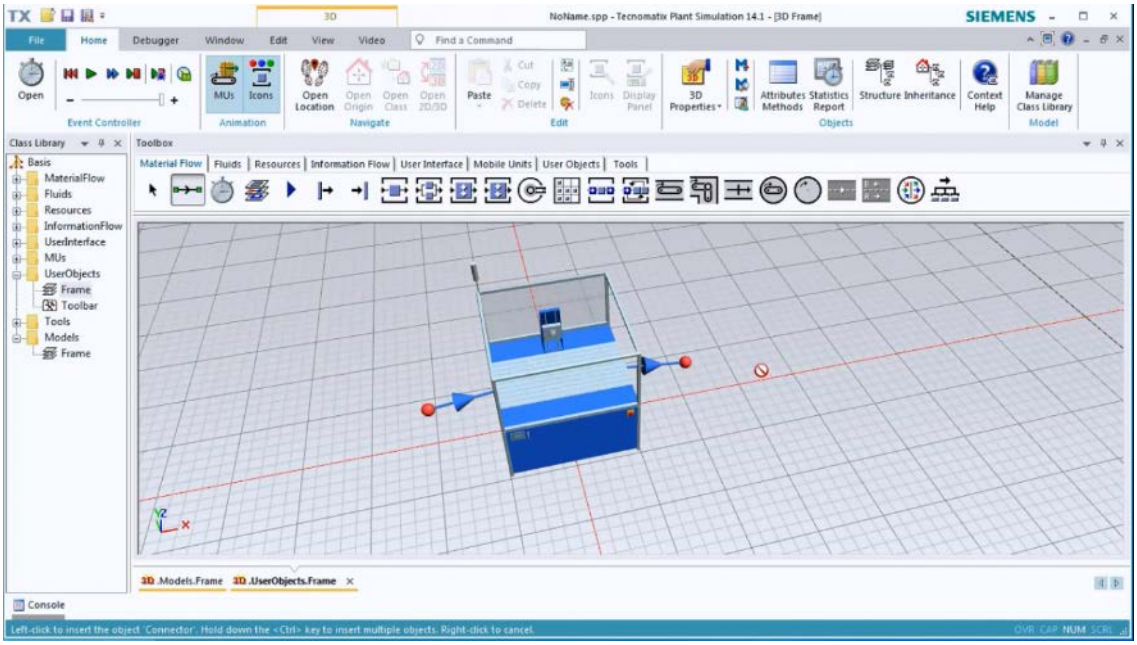


Рис.4.162 Виробнича дільниця зі «Station» та «Interface»

Як можна помітити, на станції розташований «*ToolHolder*». Саме йому ми і надаємо анімацію переміщення: ліворуч, праворуч і до центру. Для цього правою кнопкою миші натискаємо на «*Station*» і обираємо пункт «*Open*» in «*New 3D Window*» на рис 4.163. У новому вікні маємо можливість окремо вибрати «*ToolHolder*».

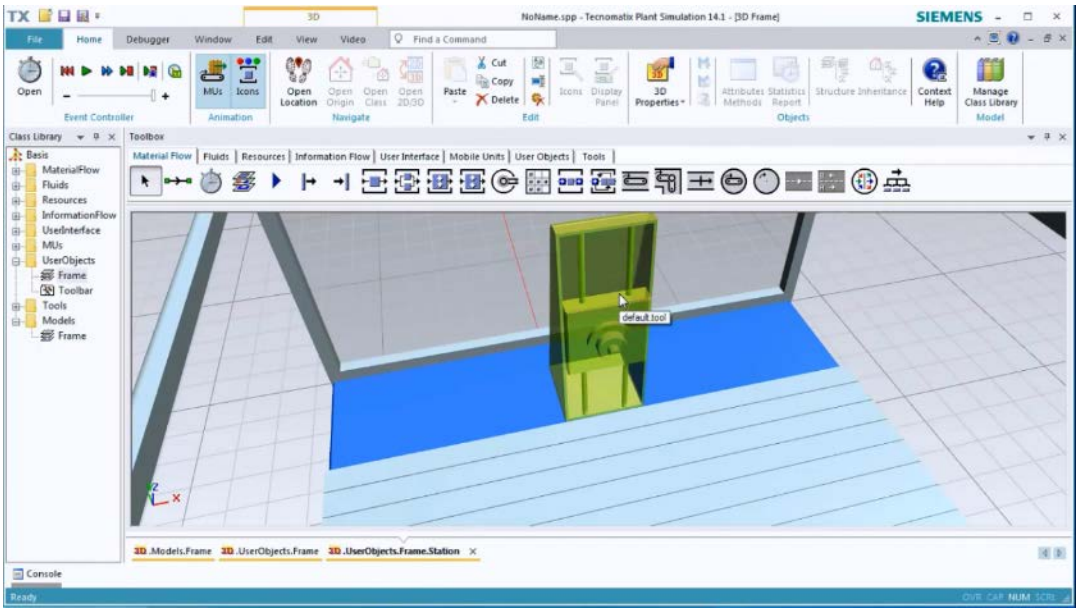


Рис. 4.163 «ToolHolder» – об’єкт, який будемо анімувати

Натискаємо правою кнопкою миші на «*ToolHolder*» і обираємо пункт «*Make Animatable Object*», тобто робимо об’єкт анімованим. Далі, задаємо назву і початкове положення нашого об’єкта і натискаємо «*OK*» (Рис. 4.164).

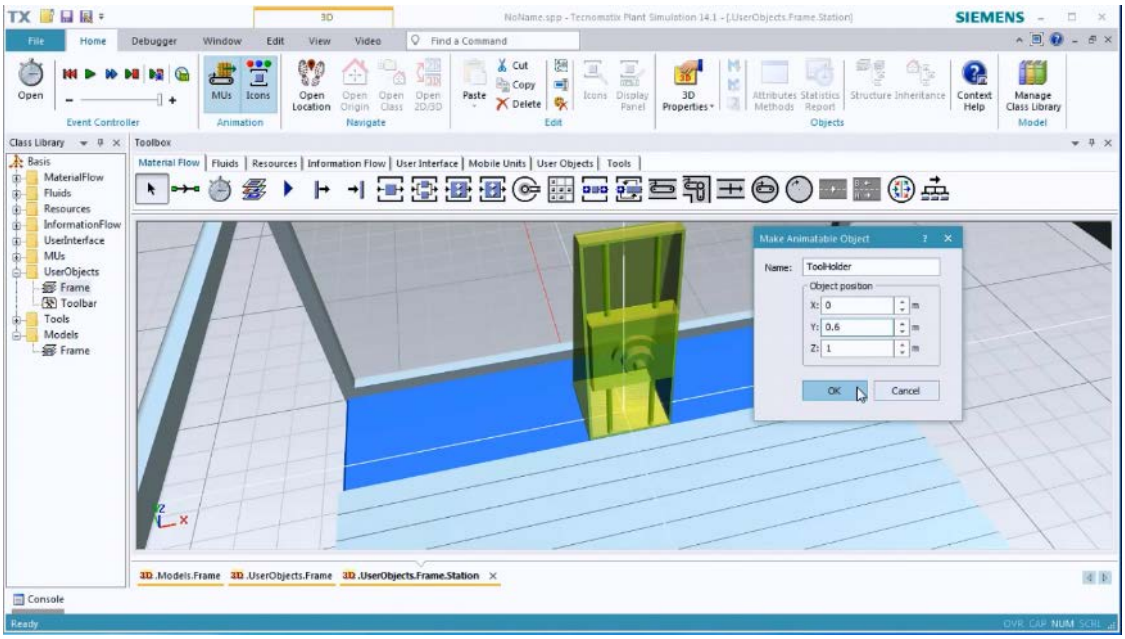


Рис. 4.164 Меню при натисканні правою кнопки миші

Задаємо маршрут руху в просторі координатами. Для цього: натискаємо правою кнопкою миші на наш об’єкт – «*Edit 3D Properties – Self Animation*».

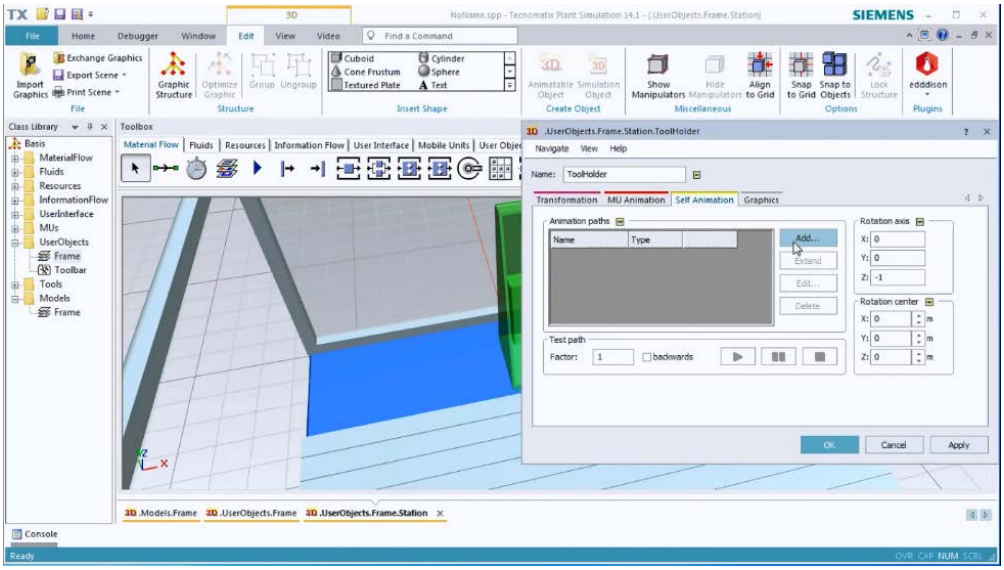


Рис. 4.165 Меню для задання маршруту по координатах

У цьому меню натискаємо на кнопку «*Add*». Додаємо три послідовні переміщення нашого об’єкта (задаються вони шляхом задання двох координат – початку і кінця, а також часу):

Перше – ліворуч (*Left*). Ми маємо початкову координату, необхідно вказати кінцеву, для цього: натискаємо «*Edit*», в новому меню натискаємо «*Add*», а потім «*Edit Values*».

Задаємо переміщення по осі X «– 0,8» м і час – «1» с, після чого двічі натискаємо «*OK*» (*Рис. 4.166*).

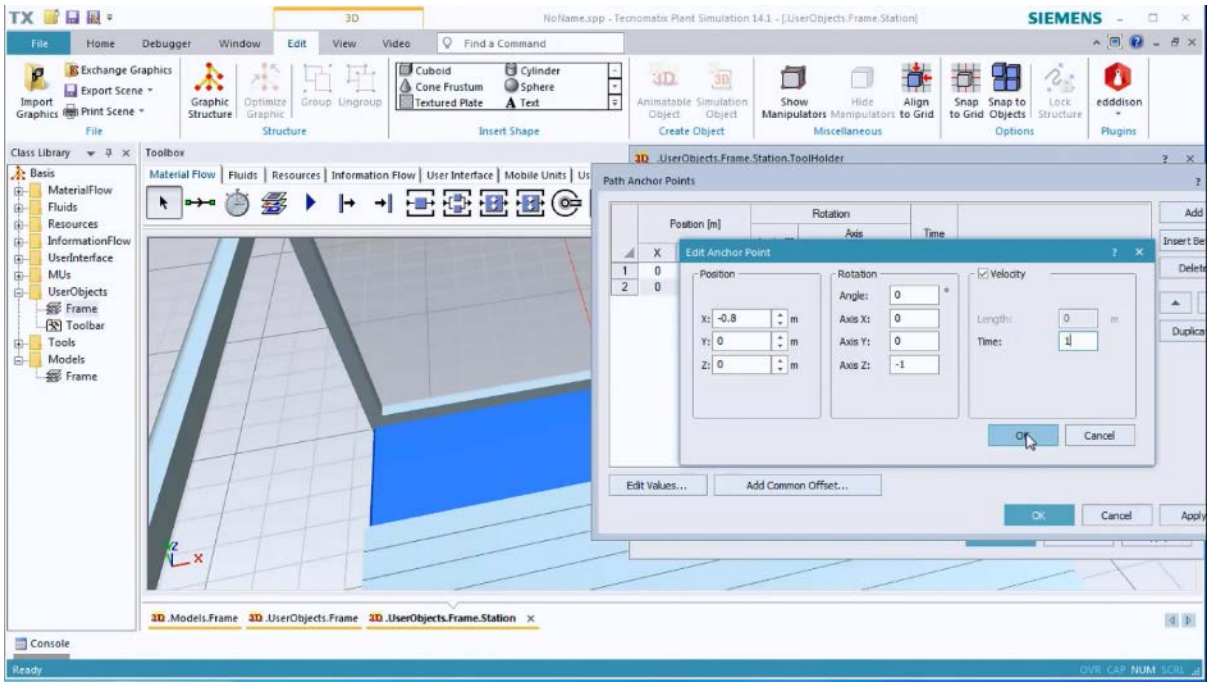


Рис. 4.166 Задання маршруту для руху ліворуч

Перевірити анімацію можна, натиснувши *«Play»*.

Друге переміщення – праворуч (*Right*). Задається у два кроки, спочатку вказуємо початкову координату, тобто кінцеву при переміщенні ліворуч, потім кінцеву вже при очікуваному переміщенні праворуч. По осі X – 0.8 м та 0 м відповідно, а також час – 20с.

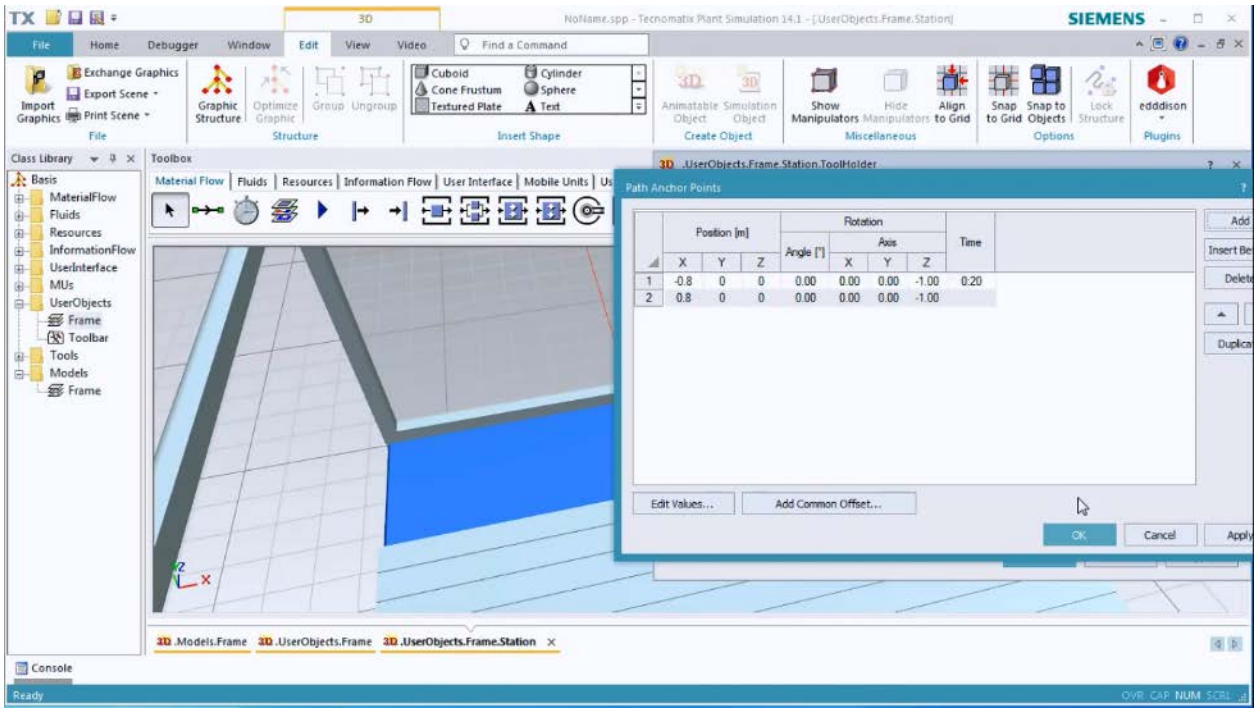


Рис. 4.167 Задання маршруту для руху праворуч

І останнє, третє, переміщення до центру (*Middle*). Виконується все по аналогії з попередніми, початкова координата – кінцева для другого, а кінцева – це власне повернення в початкове положення, тобто в 0 по координаті X, за час – 1 с.

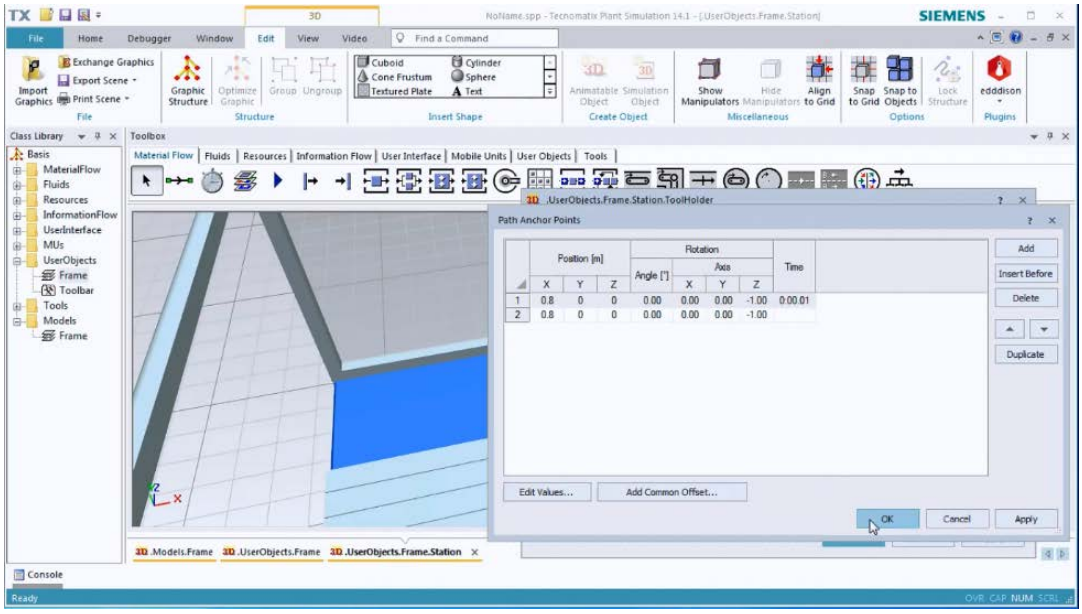


Рис. 4.168 Задання маршруту для повернення в початкову точку

Після задання координат натискаємо «*OK*» у вікні, і закриваємо вкладку «*UserObject*»-«*Frame.Station*».

Повернувшись у вкладку нашої станції, додаємо «*Method*» з меню «*Toolbox – Information Flow*». Подвійним натисканням лівої кнопки миші

переходимо в меню редагування параметрів і змінюємо ім’я на «*onEntrance*» і натискаємо «*OK*» рис.4.169.

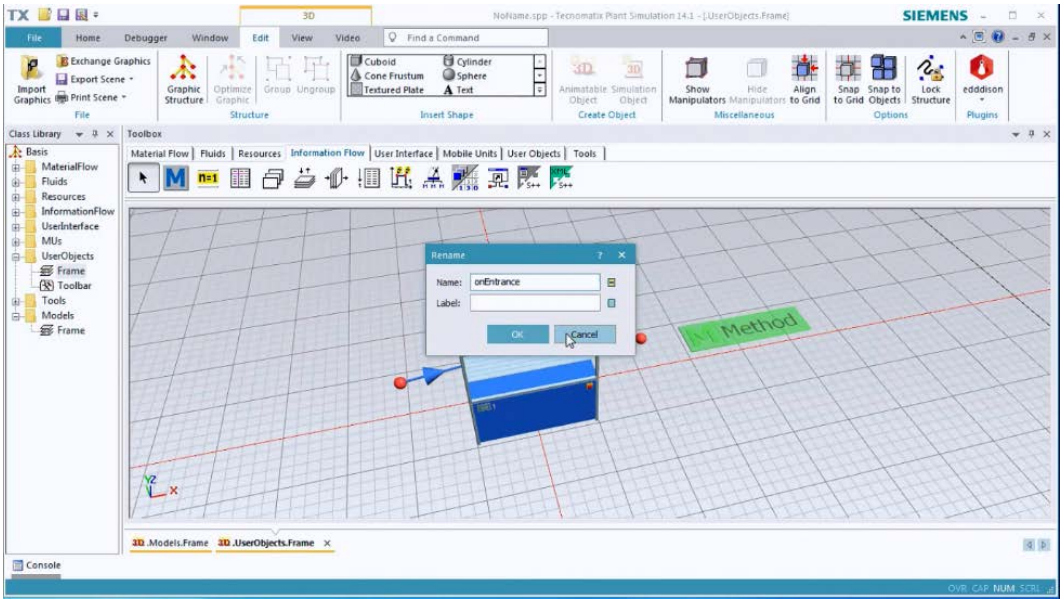


Рис. 4.169 Задання імені для «Method»

Далі подвійним натисканням лівої кнопки миші на станцію, відкривається меню редагування її параметрів. У вкладці Times змінюємо наступні параметри рис.4.170:

Processing time: 0:22sec. (1 с. ліворуч, 20 с. праворуч і 1с. в центр)

Recovery time: 5sec.

Recovery time starts: When part exits

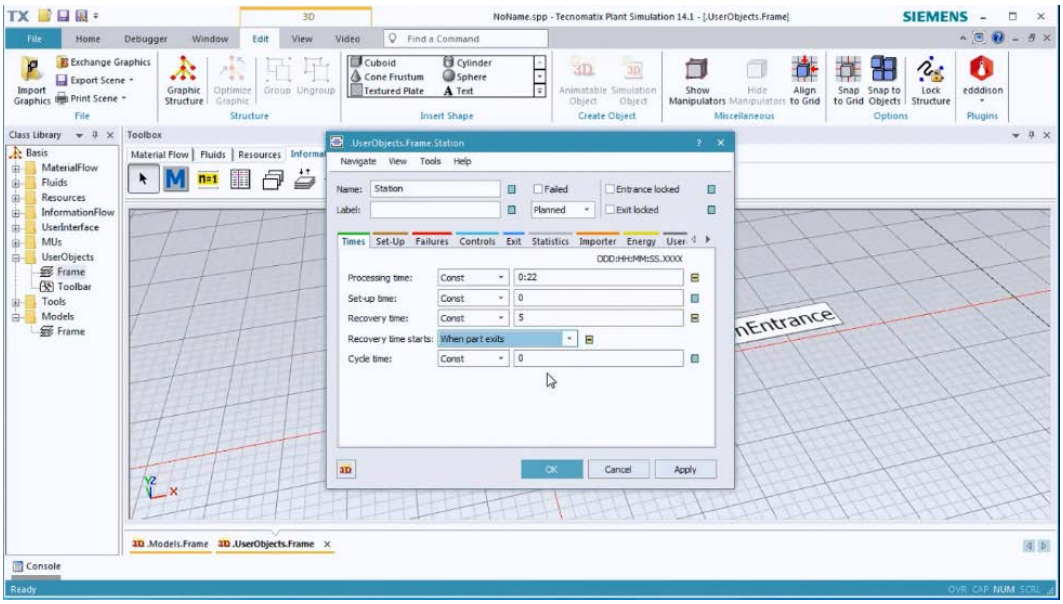


Рис. 4.170 Меню задання часу для станції

Переходимо до вкладки «*Controls*» і в поле «*Entrance*» задаємо раніше доданий «*onEntrance*», натискаємо «*OK*».

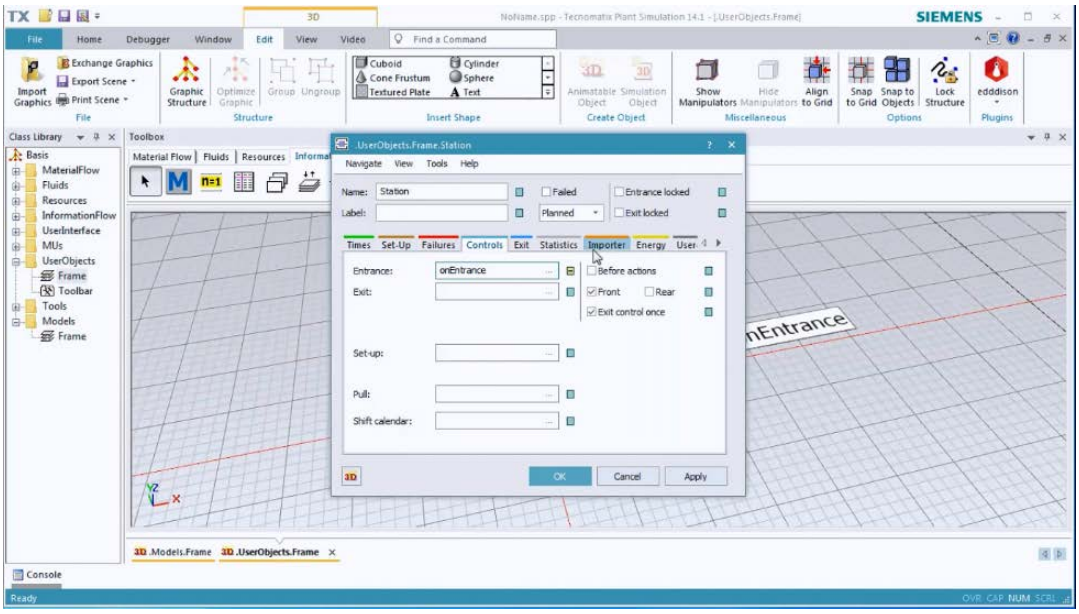


Рис. 4.171 Підключення «onEntrance»

Подвійним натисканням лівої кнопки миші по «*onEntrance*» відкриваємо поле для написання коду, який, власне, і запускатиме в дію нашу анімацію. Виглядатиме він наступним чином:

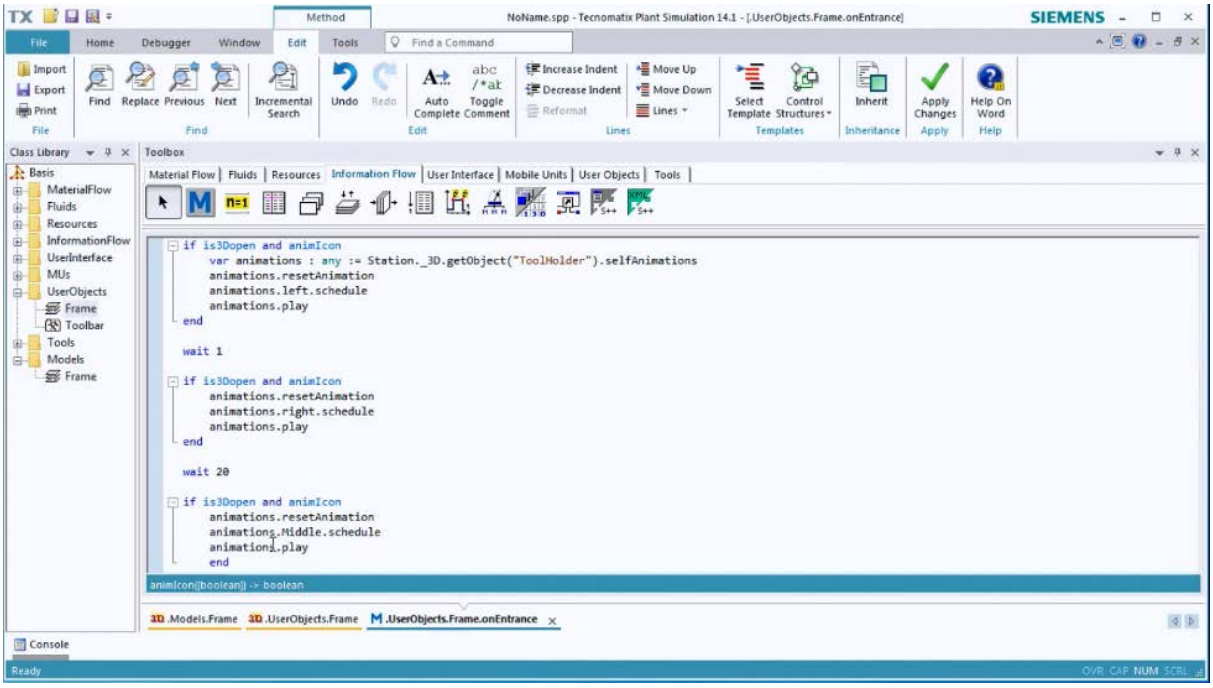


Рис. 4.172 Вікно написання коду

Тепер станція з анімованим об’єктом готова і доступна в бібліотеці. Назвемо її «*MyStation*» рис .4.173.

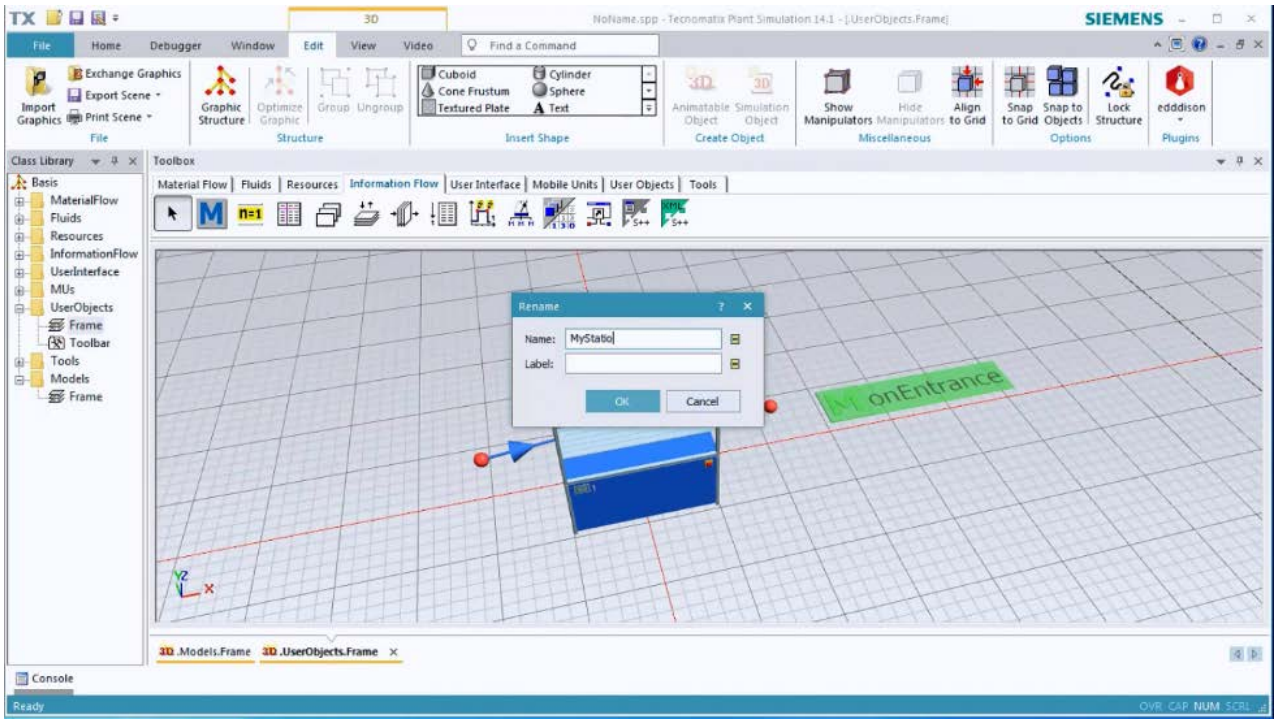


Рис. 4.173 Задання імені станції

Також слід перевірити у вкладці «*Graphics*» відсутність галочок навпроти пунктів «*default*» і «*deco*» і наявність навпроти «*Show content*» (Рис. 4.174). Для цього натискаємо правою кнопкою миші на станції та відкриваємо пункт «*Edit 3D Properties*».

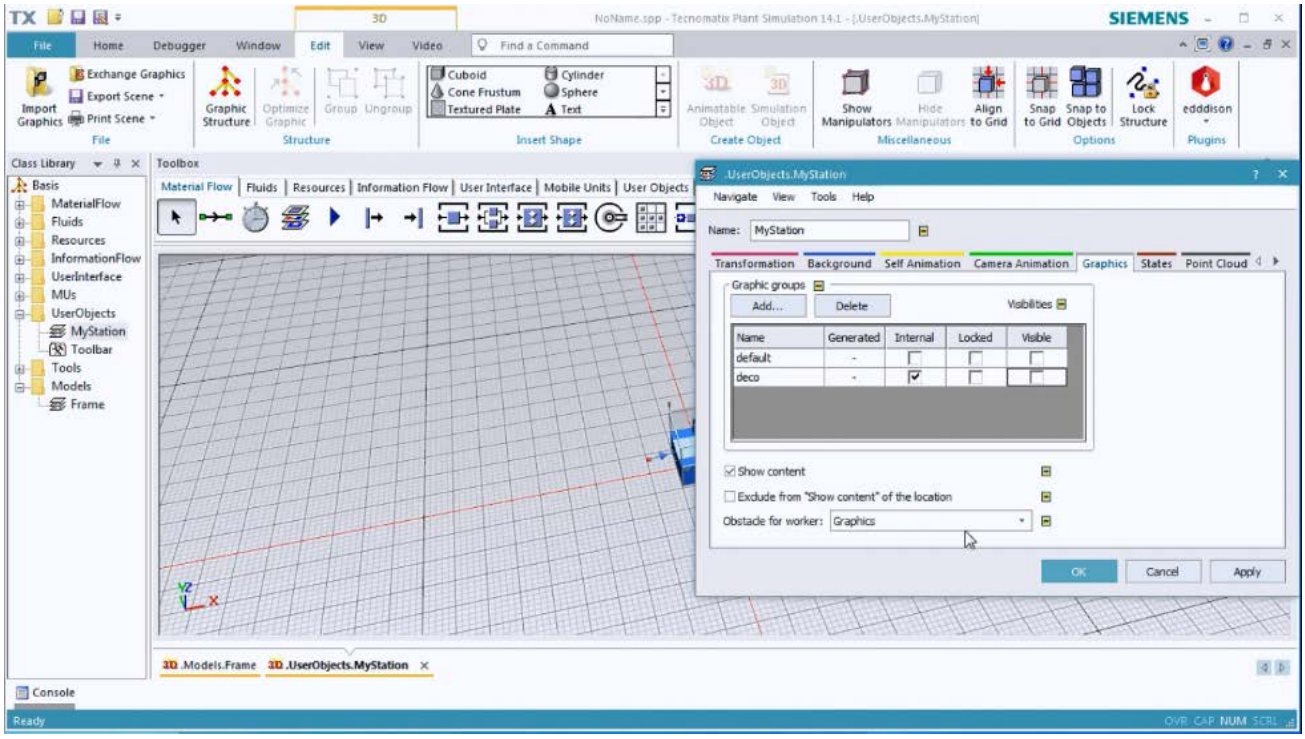


Рис. 4.174 Вкладка «Graphics» пункту «Edit 3D Properties»

Завдання

1. Розглянути методику анімування об’єктів в середовищі Plant Simulation.

2. Засвоїти методику анімування об’єктів в середовищі Plant Simulation, в особливості використання об’єктно-орієнтованого програмування.

3. Практично виконати анімування об’єктів в середовищі Plant Simulation, за запропонованою методикою.

Таблиця 4.9 Вихідні дані

Перша цифра	Кількість верстатів	Об’єкт анімації	Друга цифра	Норма часу, год.	Розмір партії, шт.
0	4	Верстат	0	0,5	1000
1	2	Інструмент	1	1	500
2	3	Заготовка	2	2	250
3	2	Працівник	3	1,5	850
4	3	Верстат	4	1,2	280
5	5	Інструмент	5	0,25	100
6	2	Заготовка	6	2	150
7	3	Працівник	7	2,25	50
8	1	Верстат	8	3	1500

Зміст протоколу

В протоколі навести фізичну модель виробничої лінії (у вигляді копії екрану). Висновки і пояснення. Додати файл імітаційної моделі виробничої лінії.

4.12 Метод організації руху працівників в цеху

Для початку роботи запускаємо програму і завантажуємо файл із 9 лабораторної роботи: натискаємо *Load last model* або *Recent models* і обираємо потрібну модель.

Щоб додати робочі місця на станції, натискаємо «*Workplac*» на вкладці «*Resources*» в панелі інструментів (*Toolbox*) і, утримуючи клавішу «*Ctrl*», переміщаємо курсор мишки туди, де буде розміщене робоче місце.

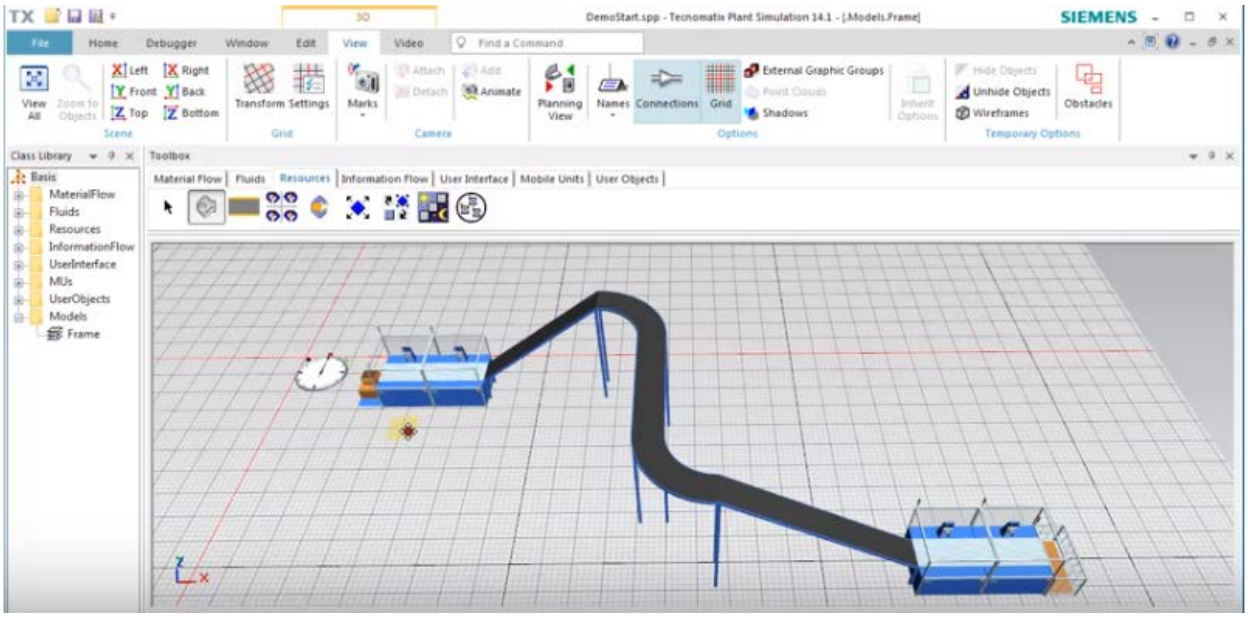


Рис. 4.175 Створення робочих місць

Натискаємо ліву кнопку миші, щоб вставити робочі місця біля об’єктів «*Station*», «*Station 1*», «*Station 3*» і «*Station 4*».

Далі ми додаємо «*Broker*» і «*Workerpool*».

Двічі натискаємо на об’єкт «*Station*», щоб відкрити діалогове вікно. Переходимо на вкладку «*Importer*» і натискаємо «*Active*», щоб активувати функцію «*Importer*». Повторюємо цю дію із об’єктами «*Station 1*», «*Station 3*» і «*Station 4*» рис.4.176.

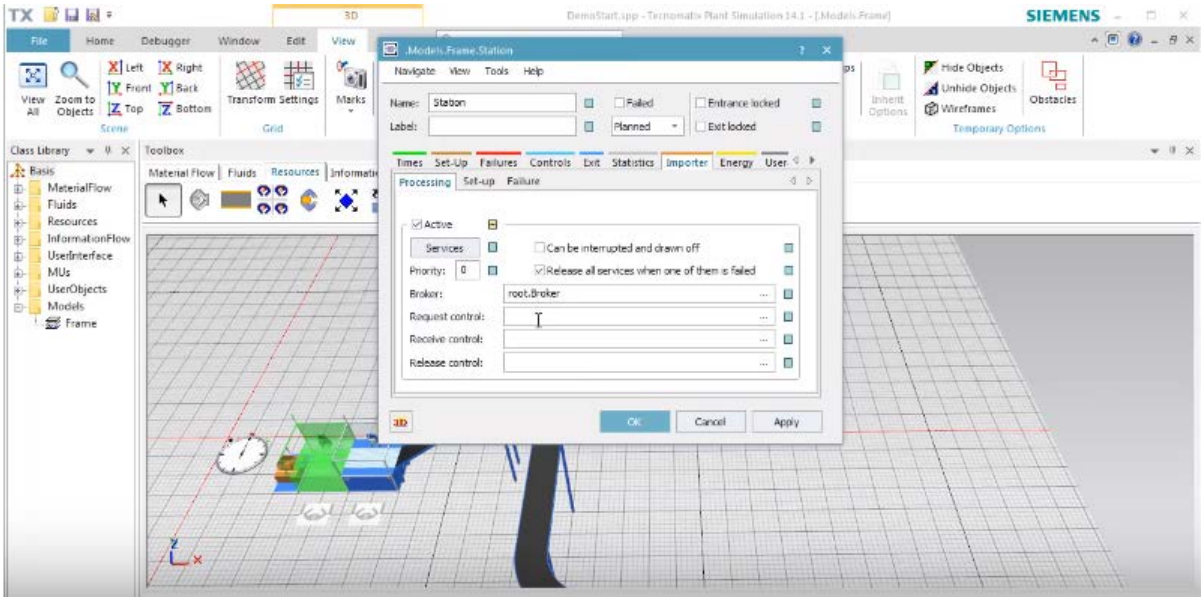


Рис. 4.176 Активація функції «Importer»

Натиснувши праву кнопку миші, ми запускаємо симуляцію робочого процесу і помічаємо, що, рухаючись між об'єктами станцій, працівник обирає найкоротший шлях між ними.

Тепер додаємо ще дві робочі станції до моделі. Для того, щоб полегшити додавання об'єктів до моделі, у верхньому меню програми переходимо на вкладку «*View*» і обираємо «*Planning View*».

В «*Toolbox*» переходимо на вкладку «*Material flow*», встановлюємо «*Source*», «*Station 2*» і «*Station 5*», а також «*Drain*». З'єднуємо всі об'єкти, використовуючи «*Connector*» рис.4.177.

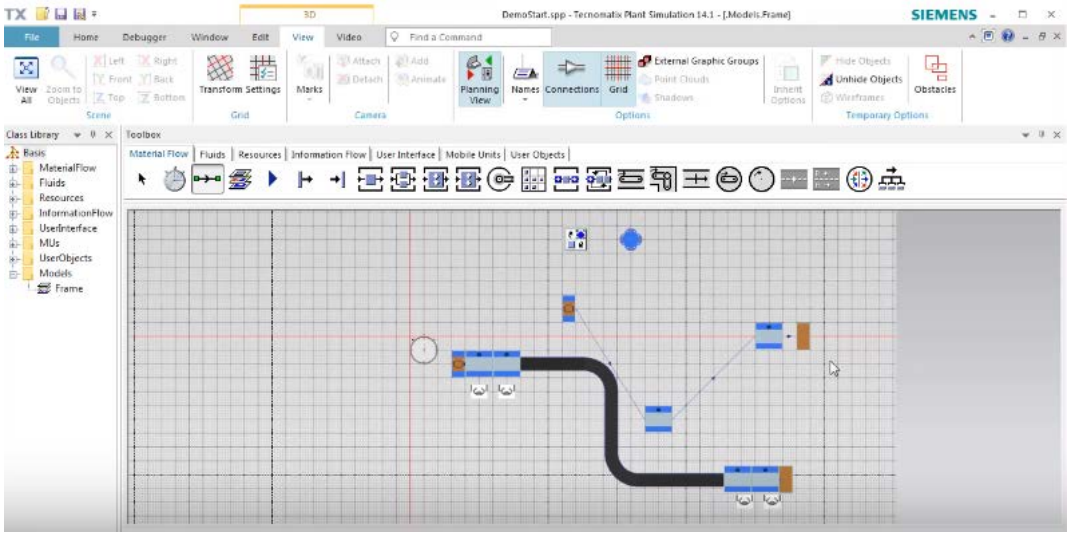


Рис. 4.177 З'єднання об'єктів моделі

Додаємо до «*Station 2*» і «*Station 5*» робочі місця та активуємо «*Importer*», *як це описано вище*. Далі виходимо з режиму «*Planning View*» і

вмикаємо симуляцію робочого процесу. Тепер для того, щоб охопити робочі процеси на всіх станціях, включаючи «*Station 2*» і «*Station 5*», робітник повинен рухатися навколо конвеєра.

Для того, щоб відобразити перешкоди, які необхідно оминути при русі, натискаємо клавішу *O*. У моделі навколо об’єктів з’являються обмежувальні рамки червоного кольору. Відстань між об’єктами і їхніми обмежувальними рамками становить 0,4 метра рис.4.178.

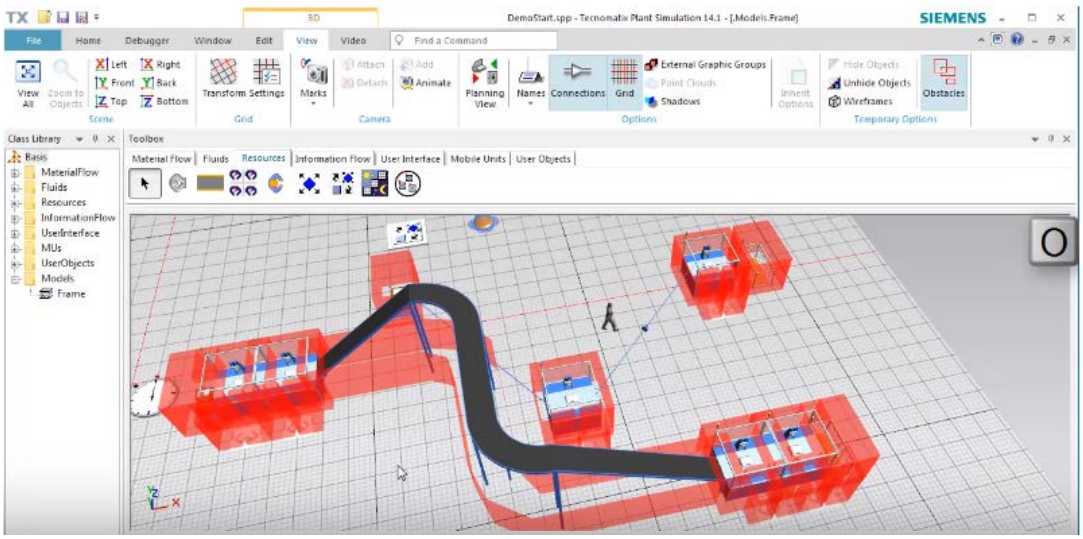


Рис. 4.178 Обмежувальні рамки

При побудові маршруту програма встановлює обмежувальну рамку навколо конвеєра, не враховуючи той факт, що висота конвеєра дозволяє робітнику рухатися під ним. Щоб усунути це, нам необхідно вставити «*Footpath*». Для цього ми переходимо на вкладку «*Resources*» і обираємо «*Footpath*». Встановлюємо цей об’єкт таким чином, щоб його початок і кінець були за межами червоної рамки конвеєра.

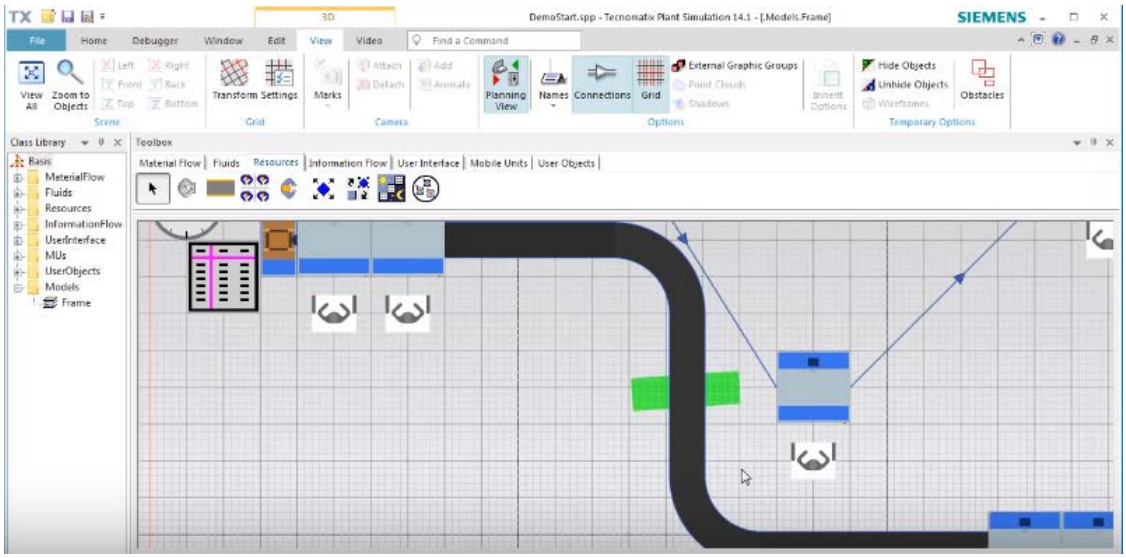


Рис. 4.179 Установка Footpath

Далі нам необхідно встановити «*Station 6*» безпосередньо перед «*Footpath*». Тепер робітник буде рухатися навколо цієї станції.

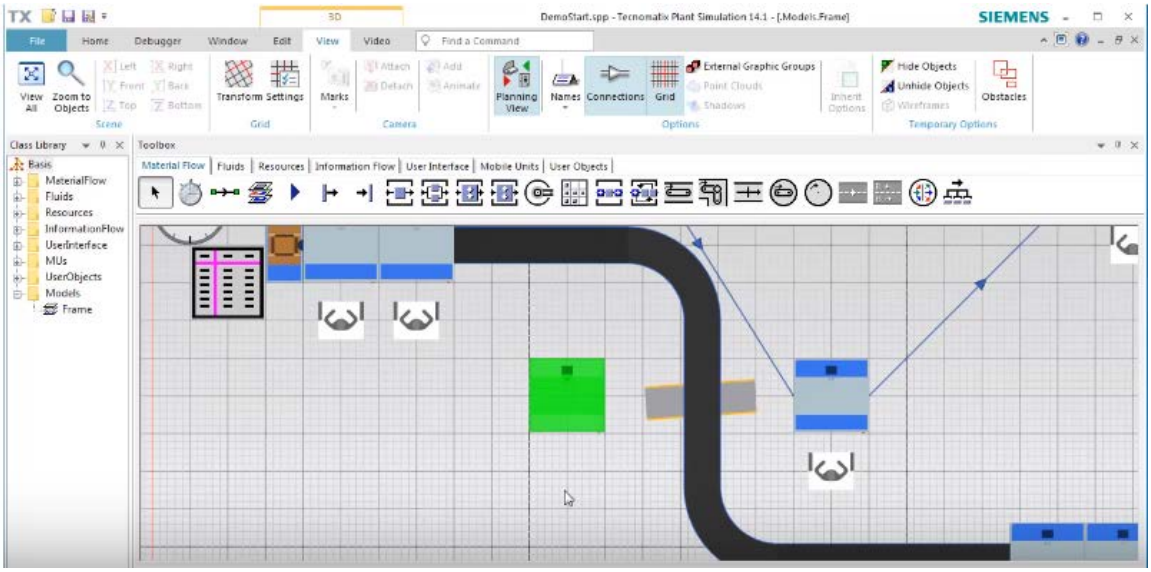


Рис. 4.180 Установка «Station 6»

Тепер правою кнопкою миші натискаємо на «*Station 6*» і у вікні обираємо «*Open in New 3D Window*».

Затиснувши ліву кнопку миші, виділяємо станцію і за допомогою клавіші «*Delete*» видаляємо всі її компоненти рисс.4.181.

Далі у верхньому меню програми у вкладці «*Edit*» вибираємо «*Cuboid*» і розміщуємо два таких елементи з параметрами 1x1x1 м.

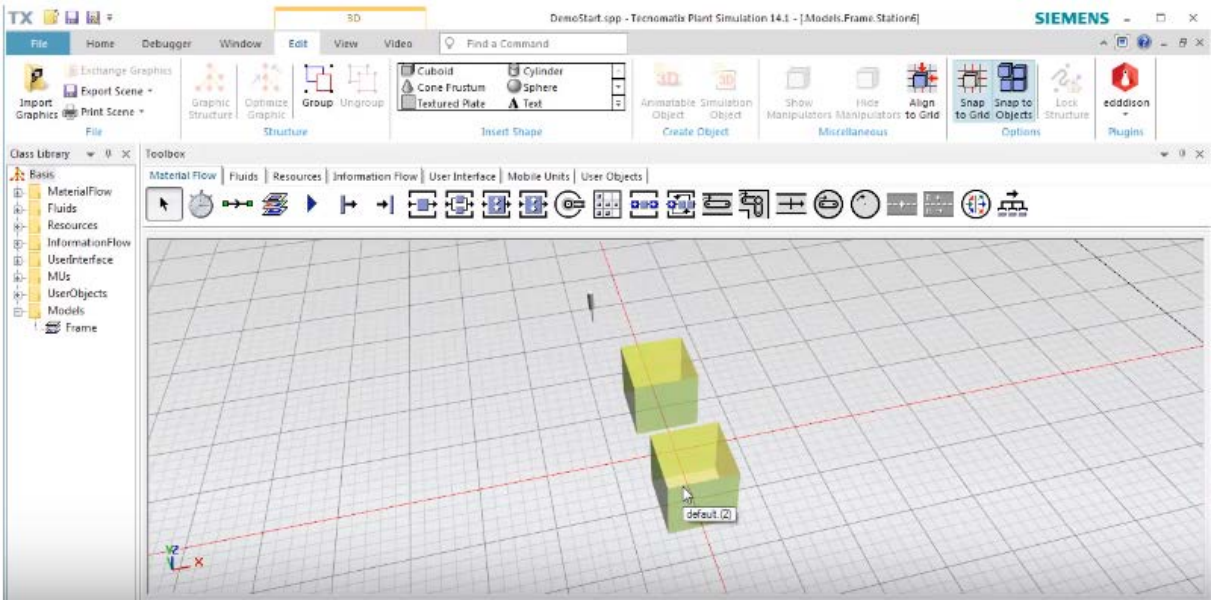


Рис. 4.181 Розміщення кубоїдів

Закривши це вікно, ми бачимо загальний вигляд нашої моделі. Тепер ці елементи кубічної форми мають одну спільну обмежувальну рамку.

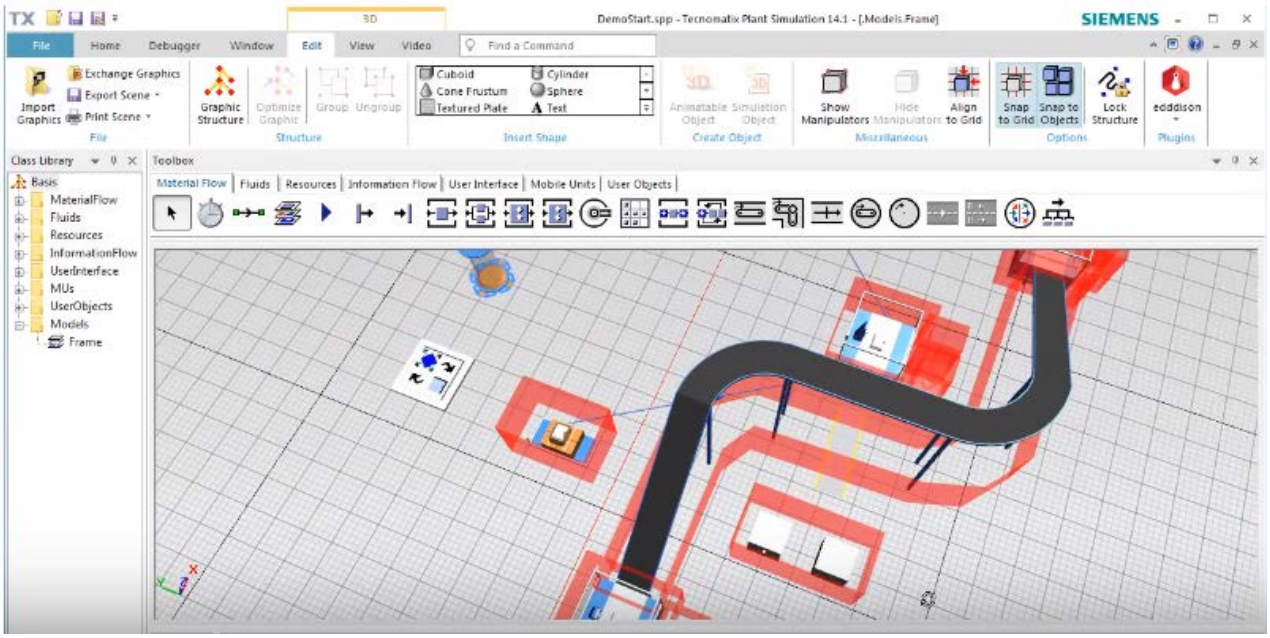


Рис. 4.182 Загальний вигляд моделі

Правою кнопкою миші натискаємо на ці кубічні об’єкти і обираємо «*Edit 3D Properties*». У діалоговому вікні на вкладці «*Graphics*» змінюємо параметри «*Obstacle for worker*» з «*Bounding Box*» на «*Graphics*»*(Рис. 4.183)*.

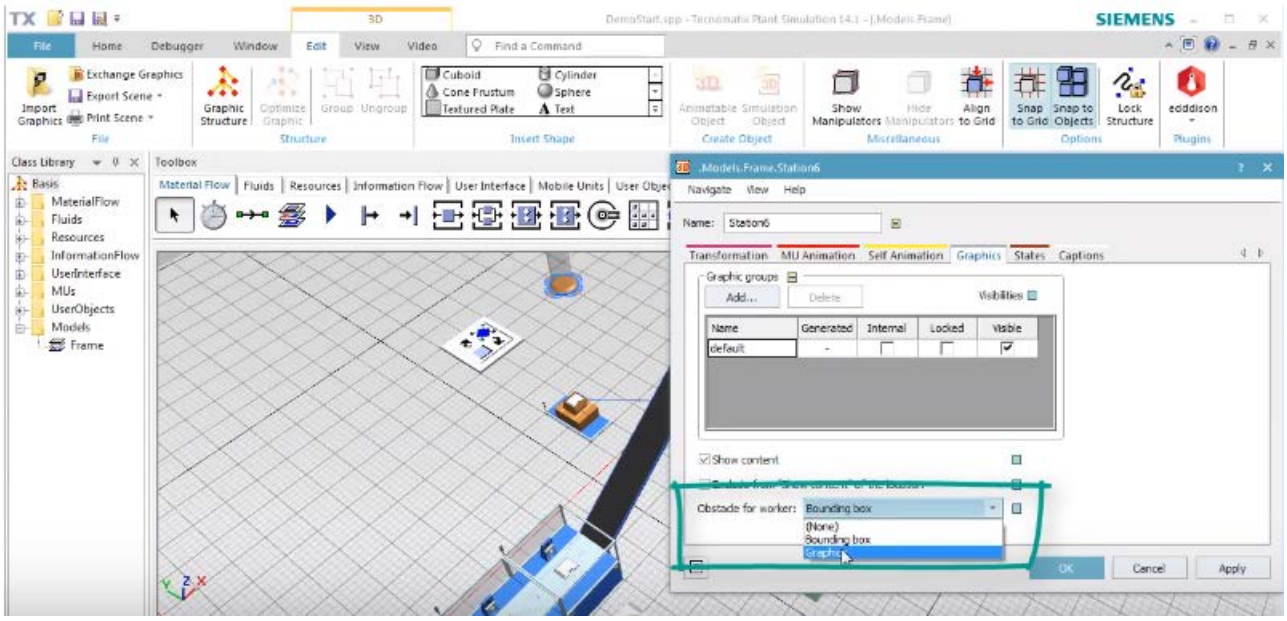


Рис. 4.183 Параметри в Edit 3D Properties

Тепер при візуалізації процесу ми бачимо, що робітник може рухатися між елементами «*Station 6*», а точніше – між кубами рис.4.184.

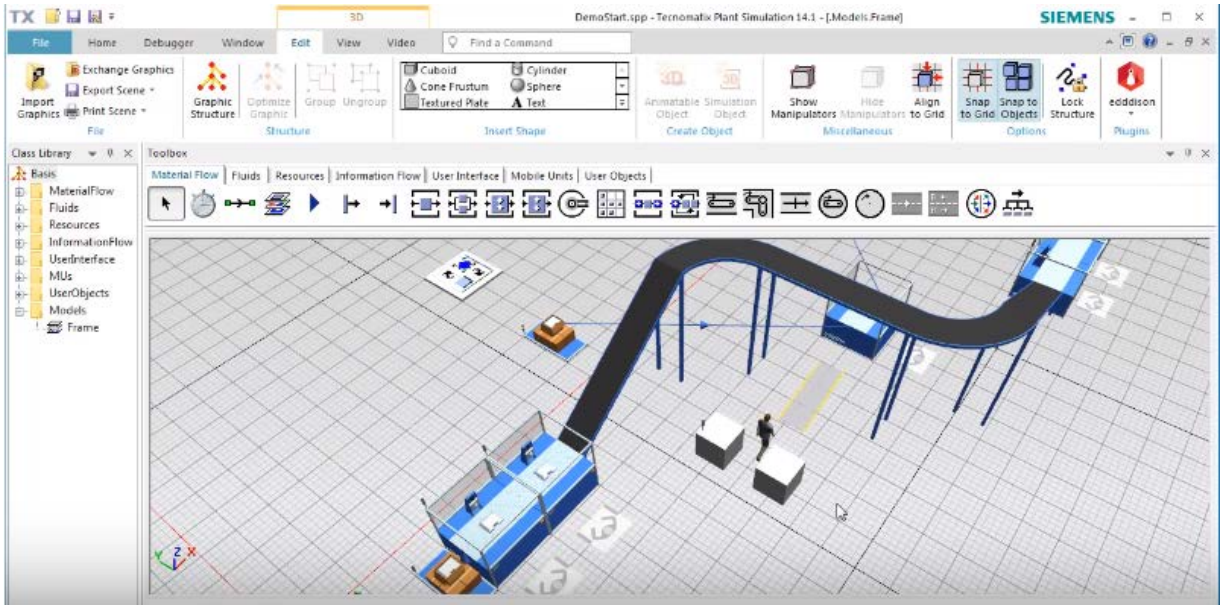


Рис. 4.184 Візуалізація процесу

При необхідності змінити висоту станцій, переходимо в «*Planning View*». На моделі обираємо необхідні станції і робочі місця. Тримаючи клавішу «*Ctrl*», прокручуємо колесо миші вгору чи вниз або натискаємо клавіші зі стрілками.

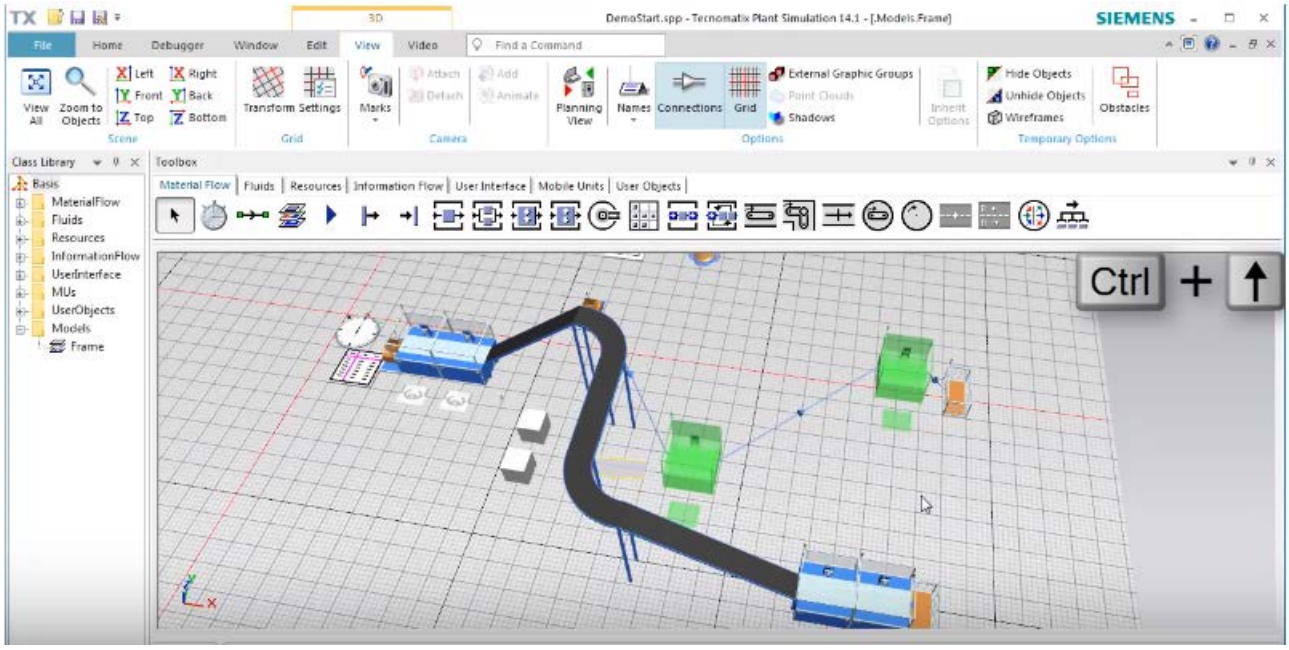


Рис. 4.185 Підняття станцій

Якщо необхідно задати точну висоту об'єктів натискаємо правою кнопкою на необхідний об'єкт, обираємо «*Edit 3D Properties*» і на вкладці «*Transformation*» змінюємо значення *Z* на потрібне.

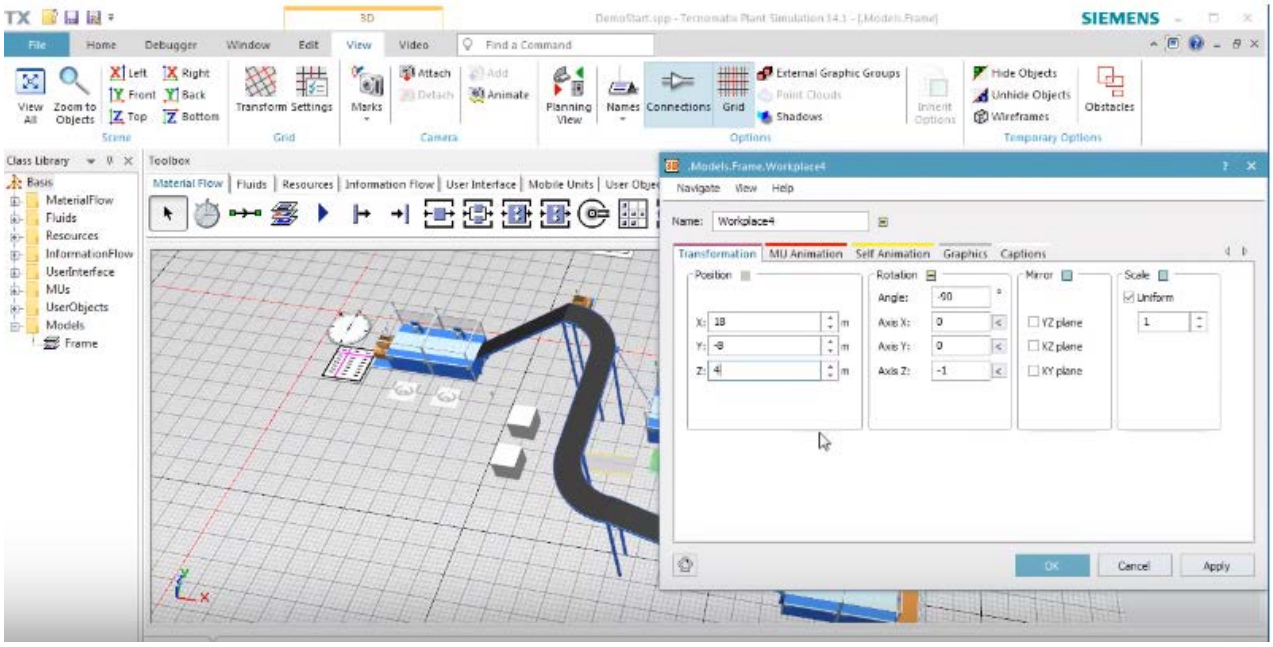


Рис. 4.186 Зміна параметрів висоти

Якщо при зміні висоти робочих об'єктів виникла помилка *«Робітник не може дістатися робочого місця»*, необхідно зробити наступне: у вкладці меню «*Edit*» обрати «*Stairs*», у діалоговому вікні задаємо значення «*Rise*» таке ж, як задана висота об'єкта. Далі ставимо «*Stairs*» в будь-якому місці рис 4.187.

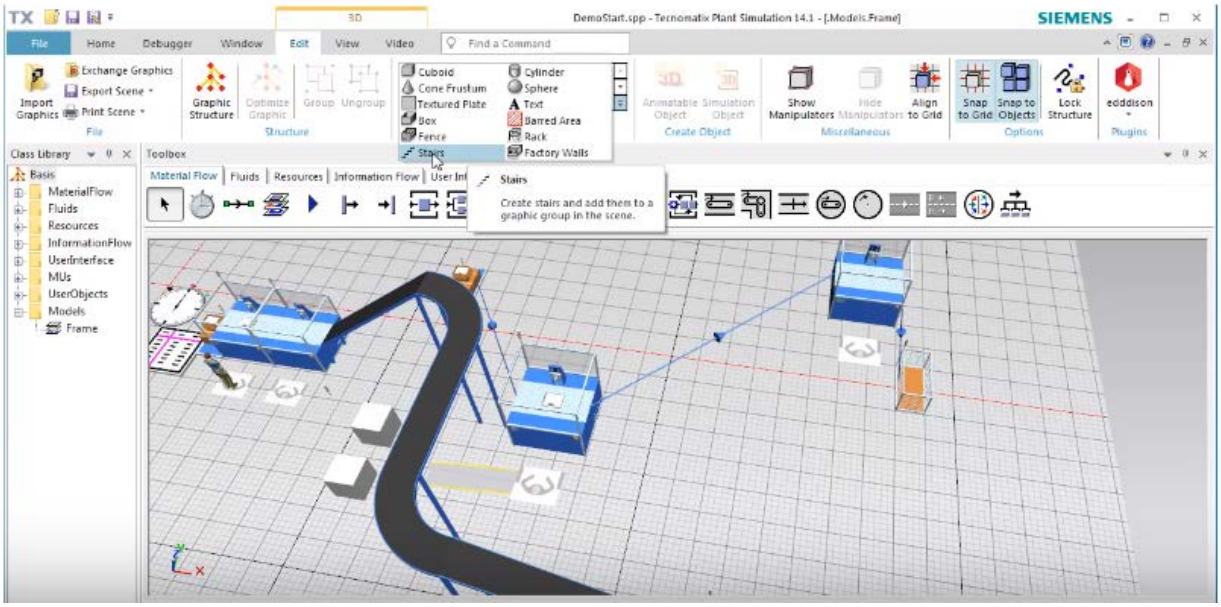


Рис.4.187 Установка «Stairs» до станцій

Завдання

1. Вивчити методи раціональної організації переміщення працівників в межах цеху.

2. Навчитися будувати траєкторію руху робітників, оминаючи обладнання.

3. Організувати переміщення працівників до робочих місць, що знаходяться на певній висоті.

Таблиця 4.10 Вихідні дані

Перша цифра	Кількість верстатів на першому поверсі, шт.	Кількість верстатів на другому поверсі, шт.	Друга цифра	Наявність конвеєрної стрічки	Кількість пропускних пунктів, шт.
0	4	1	0	+	1
1	2	2	1	-	2
2	3	5	2	+	3
3	2	4	3	-	2
4	3	3	4	-	1
5	5	1	5	+	3
6	2	3	6	+	4
7	3	5	7	-	2
8	1	6	8	+	1

Зміст протоколу

В протоколі навести фізичну модель виробничої лінії (у вигляді копії екрану). Висновки і пояснення. Додати файл імітаційної моделі виробничої лінії.

4.13 Методи створення візуально привабливої 3D моделі

У цій роботі мова йде про 3D моделювання виробничого цеху. Для того, щоб змоделювати цех, необхідно спочатку змоделювати виробничу лінію, яка складається з джерела, трьох верстатів, автоматичної лінії, буферу та коробки зберігання рис.4.188.

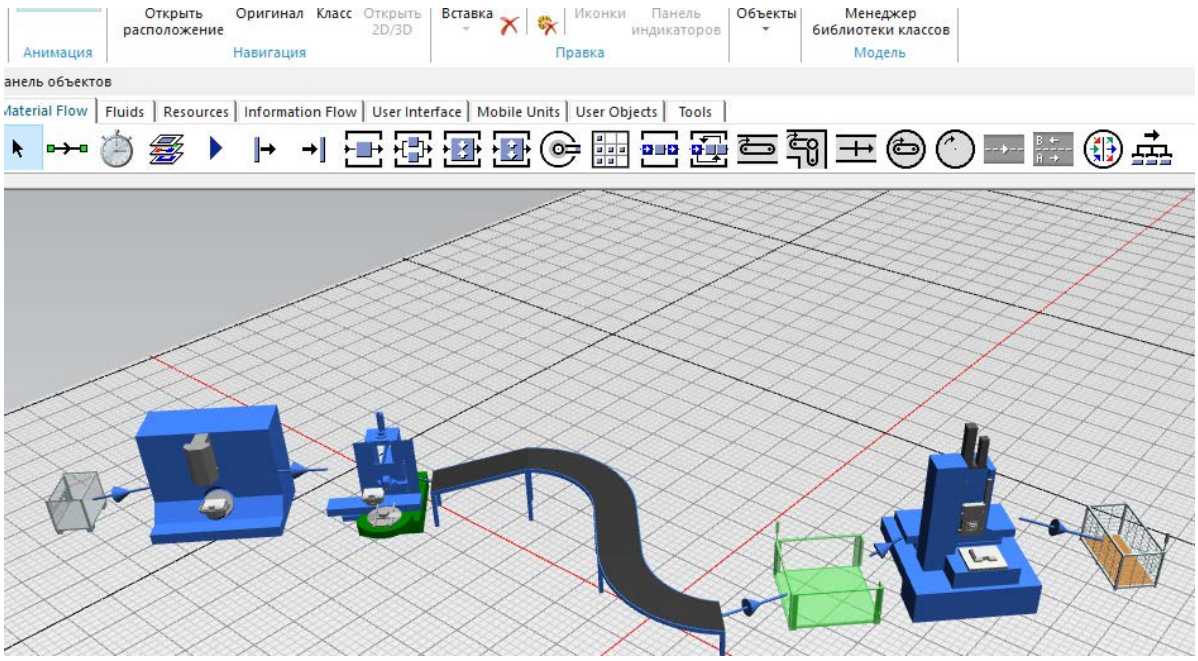


Рис. 4.188 Модель виробничої лінії

Далі переходимо на вкладку *«View»* та натискаємо по черзі кнопки «*Grid*» та «*Shadow*», щоб прибрати сітку та показувати тіні об’єктів (рис. 4.189)

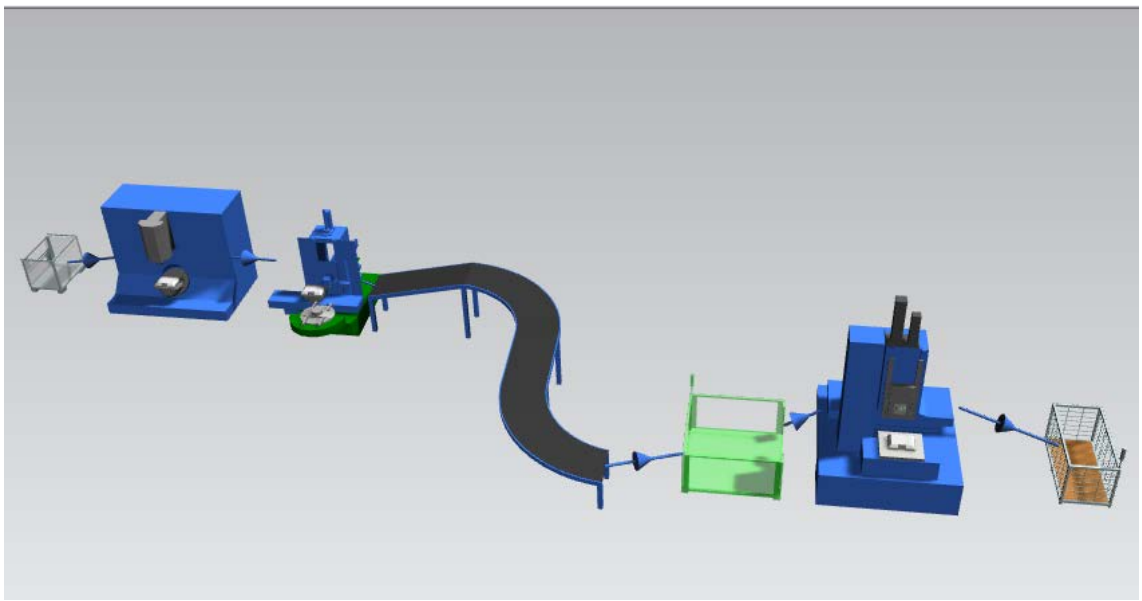


Рис. 4.189 Прибираємо сітку та включаємо тіні

Щоб побудувати підлогу та стіни нашого цеху натискаємо ПКМ на виробниче поле та вибираємо «*Edit 3D Properties*».

У відкритому вікні переходимо на вкладку «*Graphics*» і натискаємо на кнопку «*Add*». Вводимо ім'я «*Walls*» і натискаємо ОК для того, щоб закрити діалогове вікно (рис.4.190).

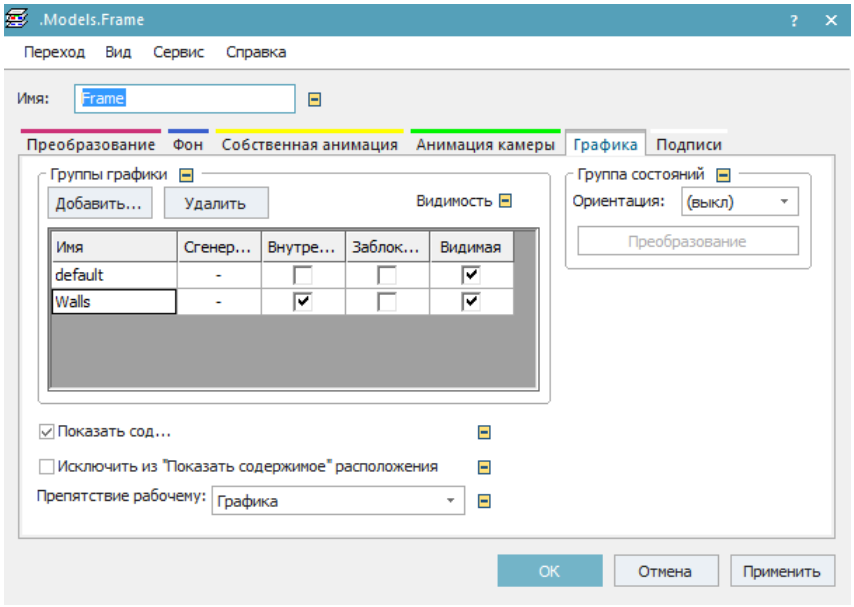


Рис. 4.190 Створення стін

Для того, щоб створити підлогу в нашому цеху, натискаємо на вкладку «*Edit*», потім натискаємо «*Figure*» та обираємо «*Cuboid*». У вікні, що з'явилося, вводимо значення ширини, глибини і висоти нашої підлоги. У списку «*Graphic Group*» вибираємо «*Walls*», потім натискаємо ОК (рис. 4.191).

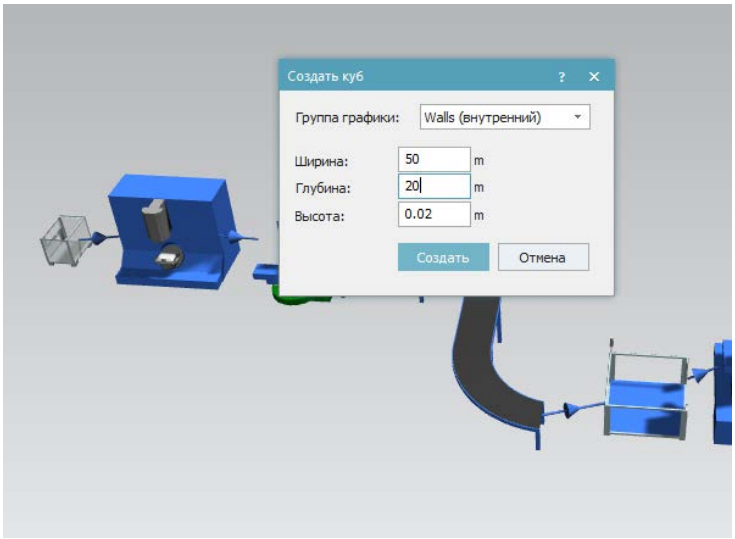


Рис. 4.191 Вводимо значення параметрів підлоги в цеху

Щоб задати колір підлоги в цеху, натискаємо ПКМ на виробниче поле, відкриваємо «*Edit 3D Properties*» і обираємо вкладку «*Material*». Ставимо

позначку біля «*Active material*» і в першій вкладці вибираємо колір для підлоги (рис. 4.192)

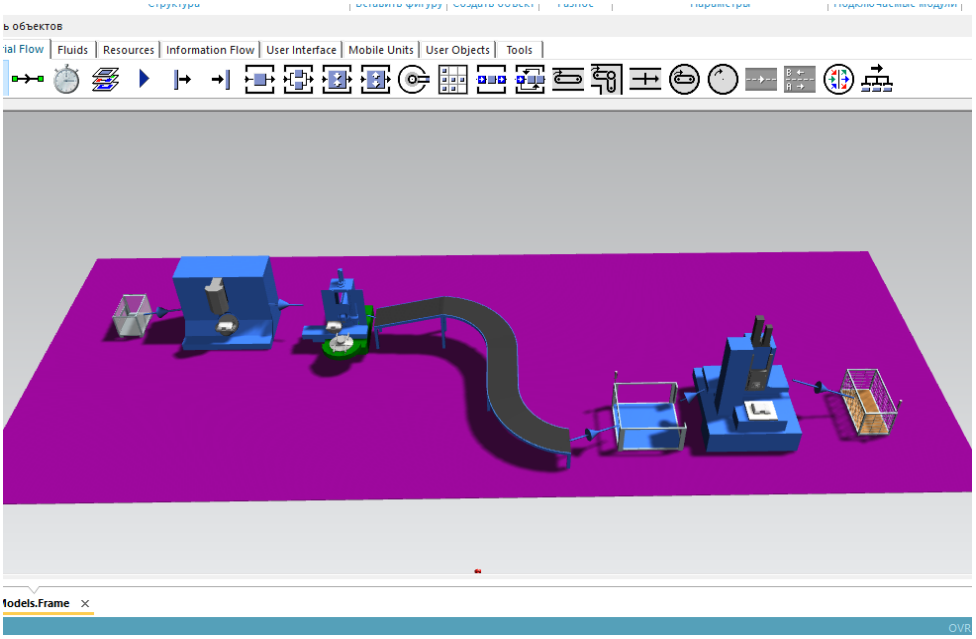


Рис. 4.192 Вибір кольору підлоги в цеху

Для додавання стін до нашого виробничого цеху потрібно виконати наступні дії: натиснути на вкладку «*Edit*», потім «*Figure*» та обрати «*Factory walls*». У вікні, що з'явилося, обираємо значення параметрів стін цеху такі ж самі, як і для підлоги цеху, при цьому додатково задавши висоту стін та їх колір (рис. 4.193)

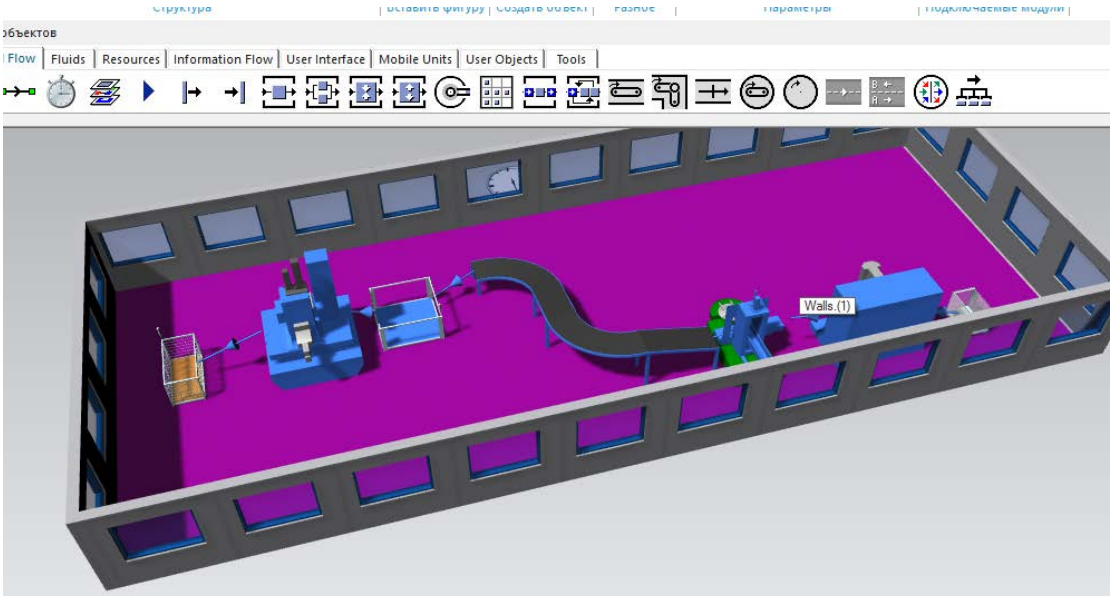


Рис 4.193 Результат завдання значення параметрів стін виробничого цеху

Для того, щоб ненавмисно не перетягнути графіку стін від їх заданого положення вибираємо «*Edit 3D Properties*», попередньо натиснувши ПКМ на

стіну. У вкладці «*Graphics*» ставимо галочку в рядку «*Walls*» у стовпці «*Locked*».

Для того, щоб додати певну кількість шаф до виробничого цеху, переходимо на вкладку «*Edit*», потім натискаємо «*Figure*» та обираємо «*Textured Plate*».

Введемо необхідні нам значення для ширини, висоти і товщини шафи. Далі вибираємо картинку реальної шафи, натискаючи на «*Image*» (картинку потрібно обирати в форматі .bpm). Переконайтесь, що поставили галочку біля «*Fit texture to plate*». (рис. 4.194)



Рис. 4.194 Фрагмент створеної шафи виробничого цеху

Вибираємо «*Edit 3D Properties*», натискаючи одночасно клавіші *Ctrl + 3*. У цьому вікні можемо орієнтувати положення шафи в цеху як завгодно (рис. 4.195).

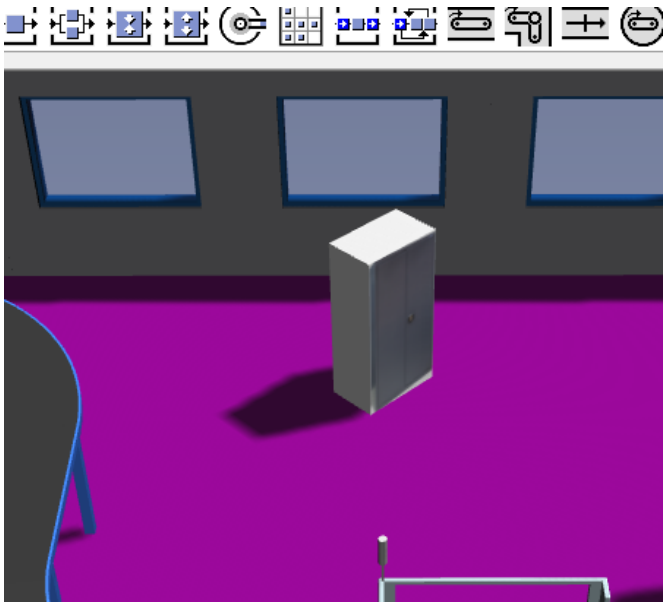


Рис. 4.195 Орієнтування положення шафи у виробничому цеху

Для того, щоб змінити колір шафи обираємо «*Show Graphic Structure*». У відкритому вікні ми бачимо дві графічні замітки в дереві, обираємо другу по

списку і натисканням правої кнопки миші вибираємо «*Edit 3D Properties*» (рис. 4.196)

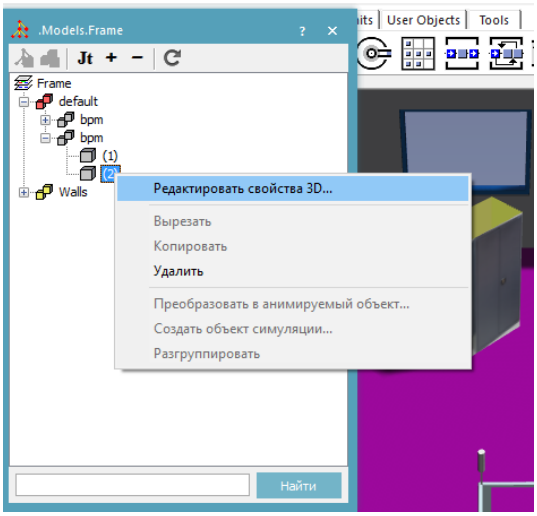


Рис. 4.196 Редагування властивостей

У відкритому діалоговому вікні вибираємо вкладку «*Material*» і ставимо галочку на рядку «*Material Active*». У рядку «*Diffuse Color*» вибираємо потрібний колір і натискаємо ОК.

Щоб додати стелаж до виробничого цеху, ми вибираємо «*Import Graphics*» на вкладці «*Edit*».

Примітка! *У відкритому вікні є можливість вставити малюнок, у який можна імпортувати будь-який графічний файл на свій смак. Підтримує різні графічні формати.*

Для прикладу обираємо існуючий файл *Rack.jp* (рис. 13.10). І натискаємо ОК. Замість імпорту малюнка ви також можете створити стелаж, клацнувши «*Rack*» в групі фігур вставки (рис 4.197-4.200).

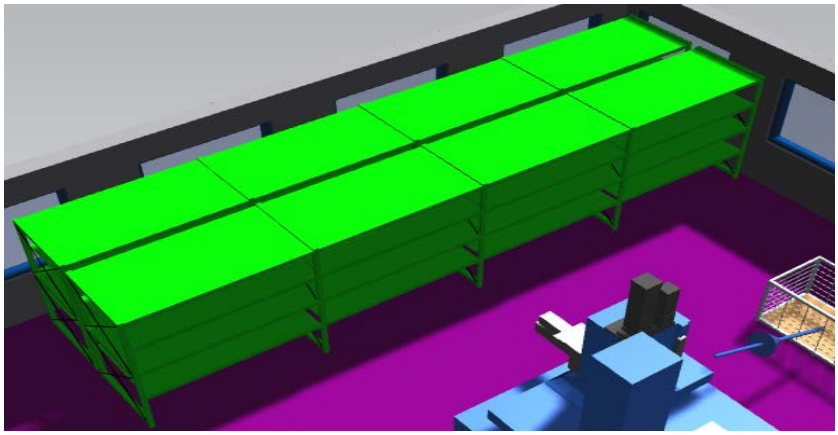


Рис. 4.198 Імпорт файлу Rack.jp

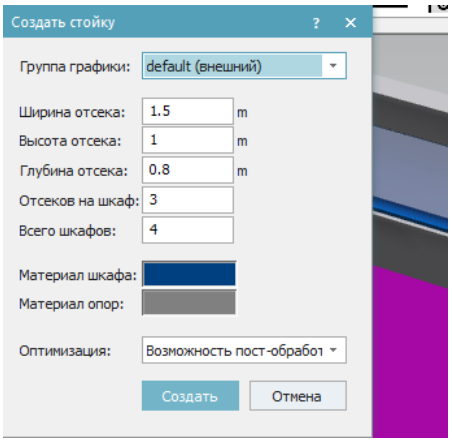


Рис. 4.199 Задаємо параметри стелажа



Рис. 4.200 Результат задання параметрів стелажа

Якщо у вас на фабриці є області, які робітникам рекомендовано не перетинати, ви можете визначити ці області. Для цього вибираємо «*Barred Area*». Вводимо значення для ширини та висоти і вибираємо потрібну форму (рис. 4.201).

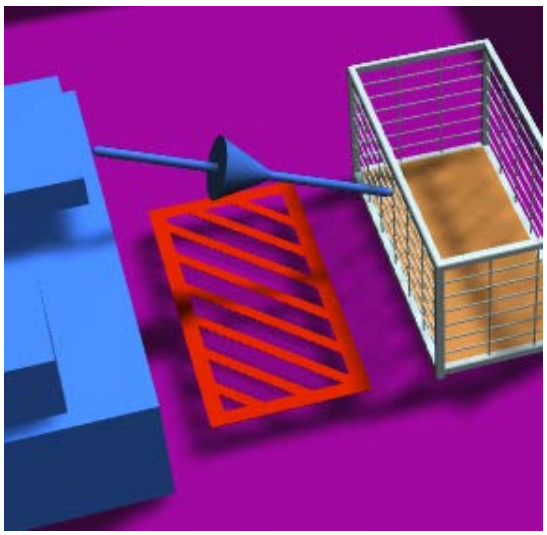


Рис. 4.201 Barred Area

Таким чином у нас з'явився заштрихований прямокутник – область, яку робітник не може перетнути.

Потім ми хочемо створити платформу для розташування виробничого цеху на другому поверсі. Спочатку ми створюємо площину, що представлятиме собою підлогу. «*Cuboid*» вибираємо у «*Figure*» в групі фігур «*Insert*». Задаємо потрібні нам значення ширини і глибини (рис 4.202).

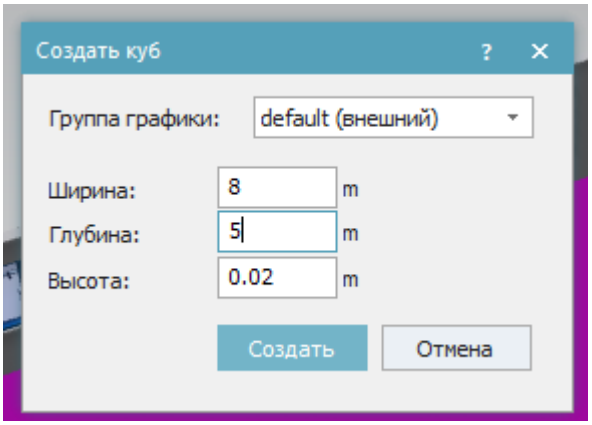


Рис. 4.202 Значення параметрів платформи

Ми залишаємо платформу в правому куті нашої фабрики і натискаємо «*Edit 3D Properties*». У відкритому діалоговому вікні задаємо потрібне значення для позиції Z (це значення буде відображати висоту платформи для другого поверху виробничого цеху).

Продовжуємо редагувати *3D Properties*. У відкритому вікні вибираємо вкладку «*Material*» і активуємо галочку «*Material Active*». Далі вибираємо колір для нашої платформи в рядку «*Diffuse Color*». Натискаємо ОК (рис. 4.203).

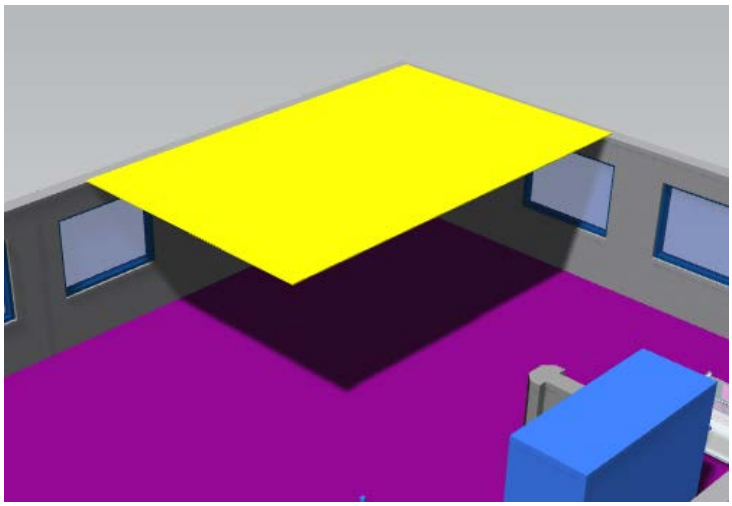


Рис. 4.203 Результат проектування виробничої платформи

Щоб потрапити на виробничу платформу цеха, яка знаходиться на висоті 4 метри від підлоги, потрібно створити сходи. Для цього обираємо «*Stairs*» у вкладці «*Edit*», «*Figure*» та задаємо значення ширини і висоти у відкритому діалоговому вікні (Рис 4.204).

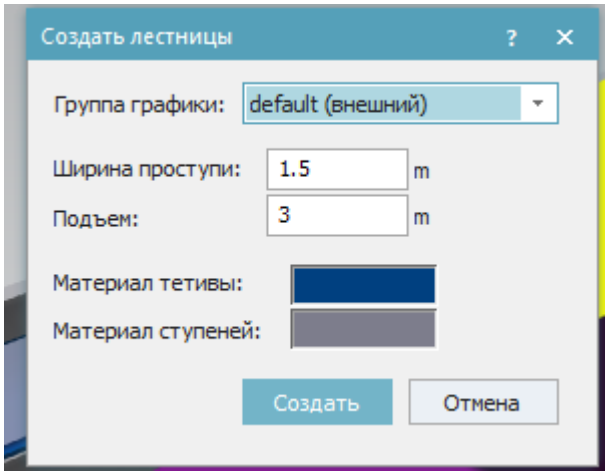


Рис. 4.204 Задаємо значення параметрів «Stairs»

Відкриваємо вікно властивостей предмета і повертаємо сходи навколо осі Z на 90 градусів (Рис 4.205).

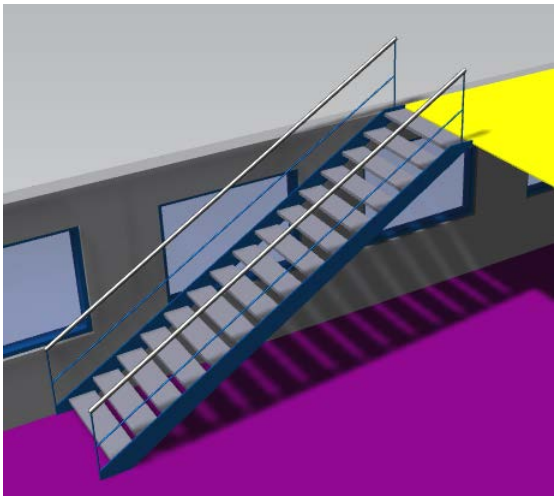


Рис. 4.205 Результат проектування Stairs

З міркувань безпеки також потрібно поставити огорожу навколо платформи.

Для того, щоб додати огорожу для платформи виробничого цеху, переходимо на вкладку «*Edit*», потім натискаємо «*Figure*» та обираємо «*Fence*».

Задаємо у відкритому вікні значення для ширини, глибини та висоти, колір матеріалу. Активуємо галочкою «*Mesh*» (Рис 4.206).

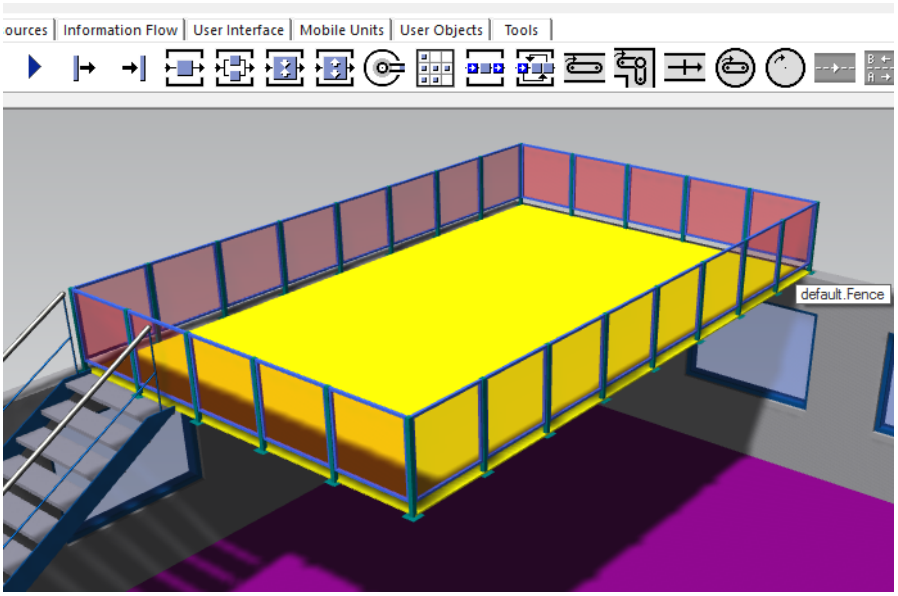


Рис. 4.206 Результат проектування огорожі

Переміщуємо огорожу на платформу і на вкладці «*View*» натискаємо кнопку «*Planning View*». У такому вигляді зручно розміщувати деталі. Ви помітите, що огорожа має чотири сторони, а в нашому випадку нам потрібно тільки дві. Для видалення натисніть курсором миші на огорожу і, натискаючи кнопку «+», виберіть потрібну ділянку. Потім натисніть кнопку «*Delete*».

1. Підтверджуємо видалення кнопкою *Yes*.
2. Повторимо ці дії для іншої поверхні біля стіни.
3. Повторюємо дії для видалення ділянки біля сходів.

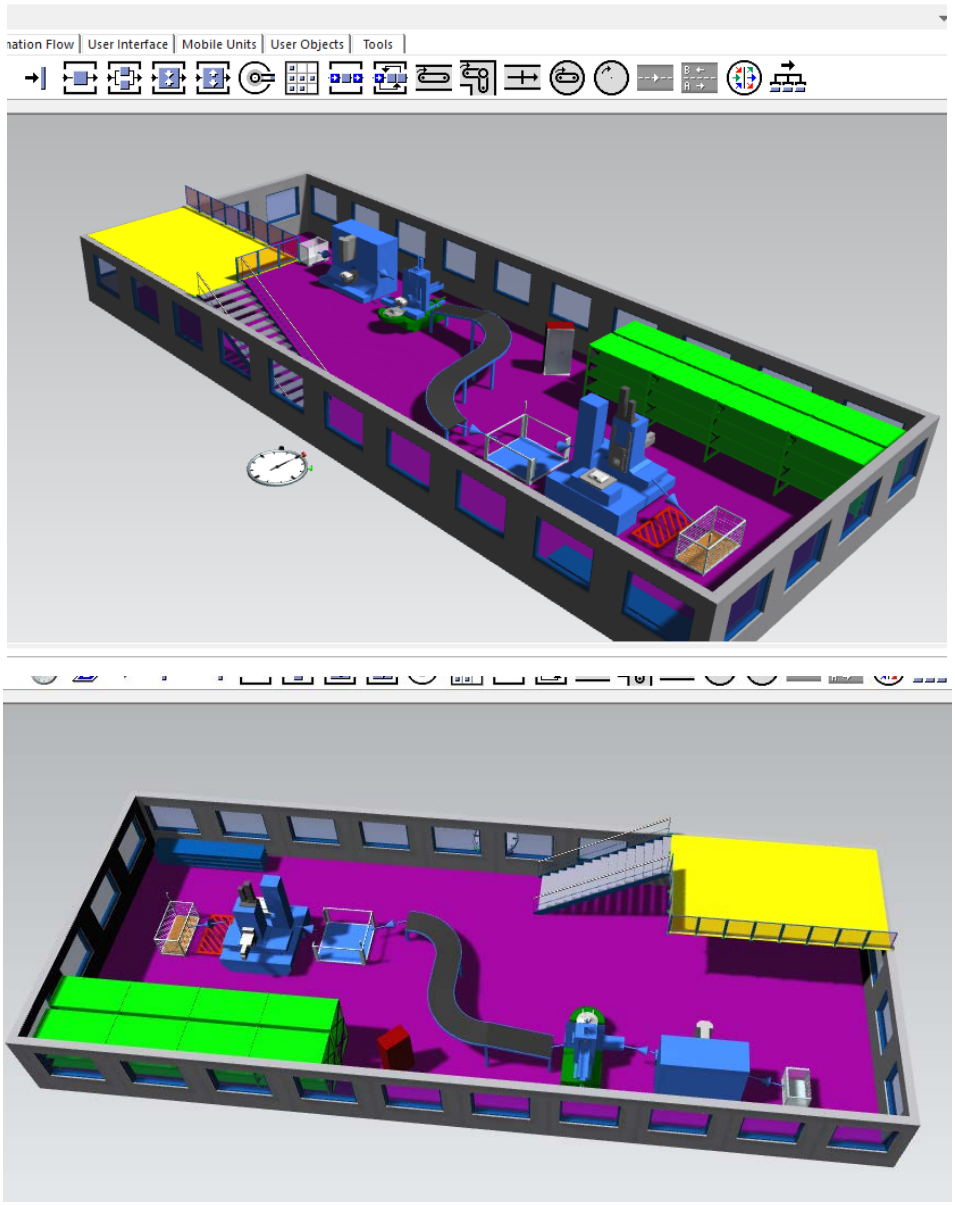


Рис. 4.207 Результати побудови імітаційної моделі ділянки

Завдання

1. Вивчити методи оформлення 3D моделі.
2. Виконати візуалізацію імітаційної моделі.

Для виконання завдання роботи №13 буде потрібен файл, створений у роботі №12.

Зміст протоколу

В протоколі навести фізичну модель виробничої лінії (у вигляді копії екрану). Висновки і пояснення. Додати файл імітаційної моделі виробничої лінії.

4.14 Професійна анімація об’єктів

Після запуску програмного додатку необхідно створити нову модель за допомогою команди *Create New Model* (рис. 4.208). У наступному діалоговому вікні необхідно обрати тип моделі: двовимірна (2D) або тривимірна (3D). Обираємо 3D модель.

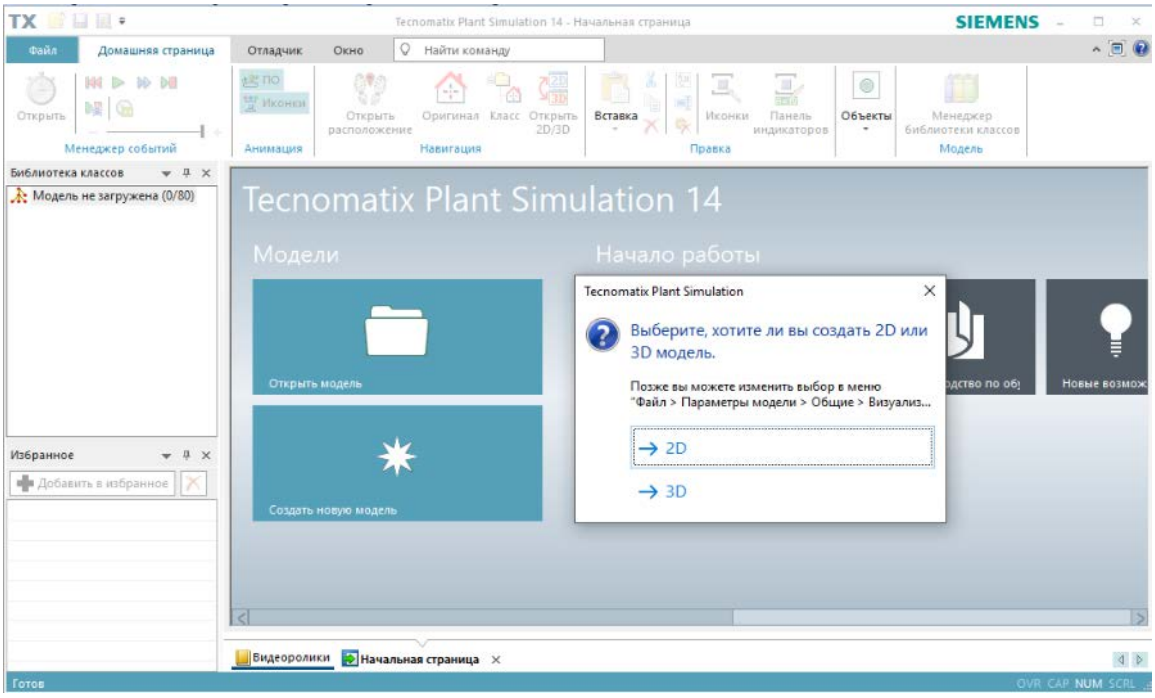


Рис. 4.208 Створення нової моделі

При проектуванні зручно використовувати режим перегляду *Front view* (рис. 4.209), для цього необхідно обрати вкладку *View → Front view*.

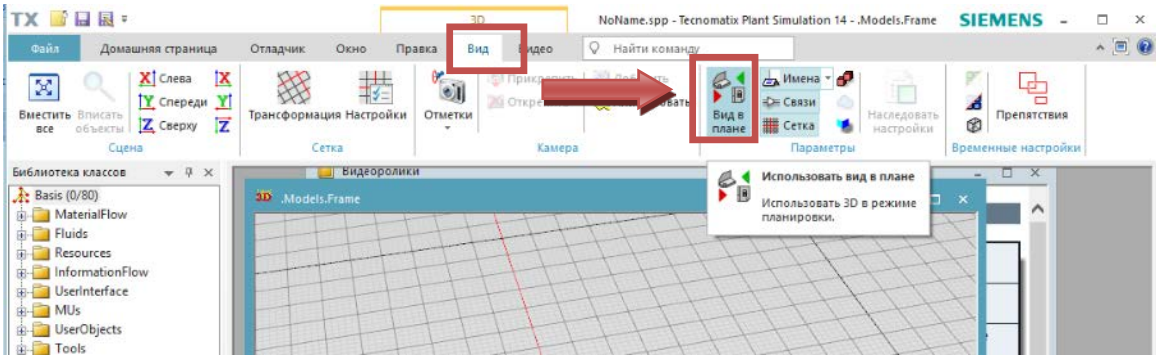


Рис.4.209 Вибір режиму перегляду

Зліва у вікні бібліотеки класів потрібно відкрити папку *UserObjects*, яка вже містить порожній фрейм *«Frame»*. Створюємо особистий фрейм з назвою *MyStation.*

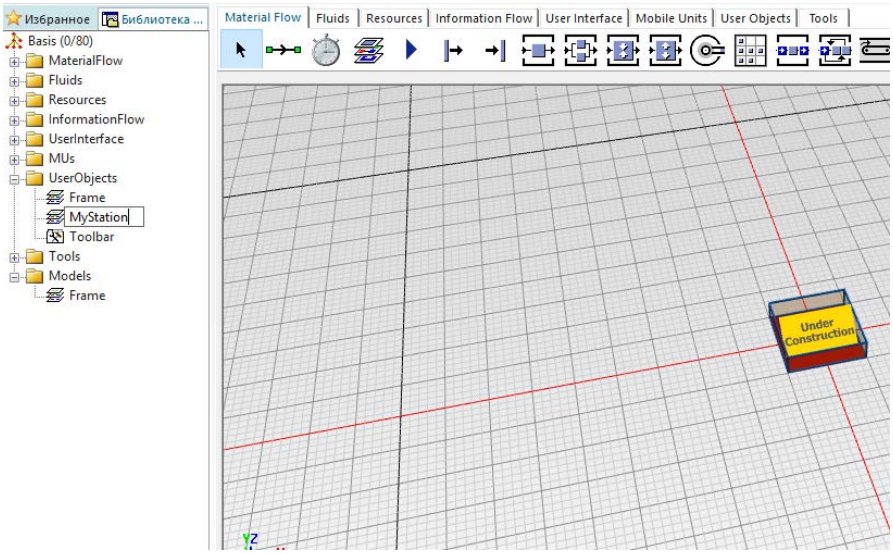


Рис. 4.210 Особистий фрейм MyStation

Створюємо нову станцію, та з'єднуємо її з двома *Connectors* (рис. 4.211)

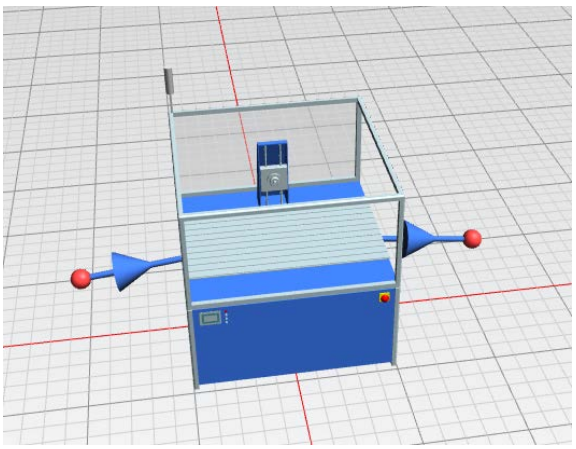


Рис. 4.211 Нова станція

Натискаємо на новостворену станцію ПКМ та обираємо *Open in new 3D window*, видаляємо графіку станції (рис. 4.212)

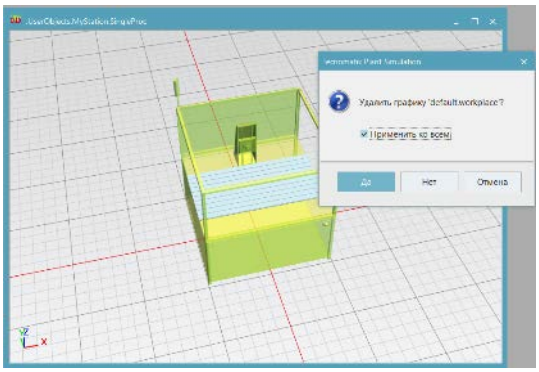


Рис. 4.112 Видалення станції

Натискаємо ПКМ, обираємо в контекстному меню *«Edit 3D properties»* та в розділі *«Graphic»* вимикаємо орієнтацію групи станів (рис. 4.213).

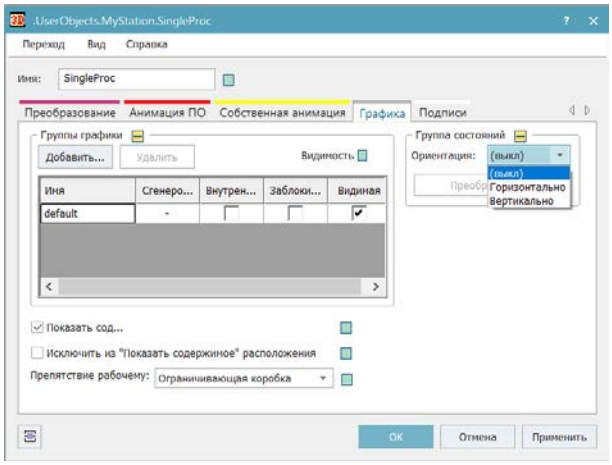


Рис. 4.213 Вимкнення орієнтації групи станів

Далі натискаємо на вкладку *Edit*, натискаємо *Figure* та обираємо *Cuboid*. У вікні, що з'явилося, вводимо значення для ширини, глибини і висоти нашого об'єкту та створюємо його.

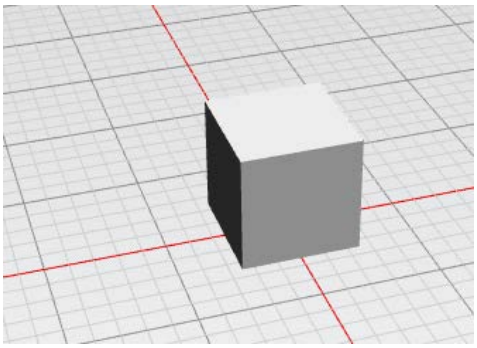


Рис. 4.214 Створений Cuboid

Потім натискаємо ПКМ, обраємо в контекстному меню *«Edit 3D properties» (або «Ctrl»+3*). У вкладці *«Position»* переконуємося, що наш кубоїд розміщений точно в початку координат. У вкладці *«Material»* ми активуємо матеріал та обираємо синій колір, як це показано на рисунку 4.215.

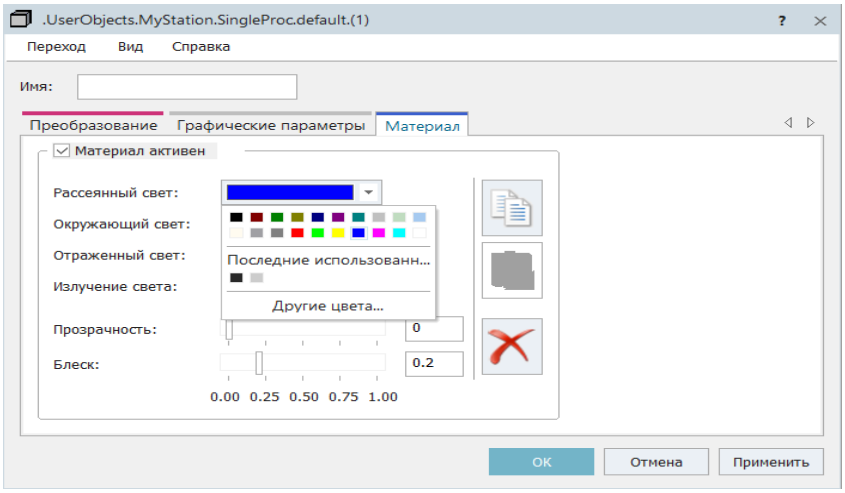


Рис. 4.215 Обираємо колір кубоїда

Створюємо ще один кубоїд з глибиною 0,4 м, натискаємо *«Ctrl»+3* та у вкладці *«Position»* вказуємо наступні координати так, щоб розмістити його на першому кубоїді. (X0, Y0,3, Z1)

І нарешті створюємо фінальний кубоїд з висотою 0,3 м, натискаємо *«Ctrl»+3* та у вкладці *«Position»* вказуємо наступні координати так, щоб розмістити його на другому кубоїді. (X0, Y0, Z2)

У вкладці *«Material»* знову активуємо та обираємо колір кубоїда.

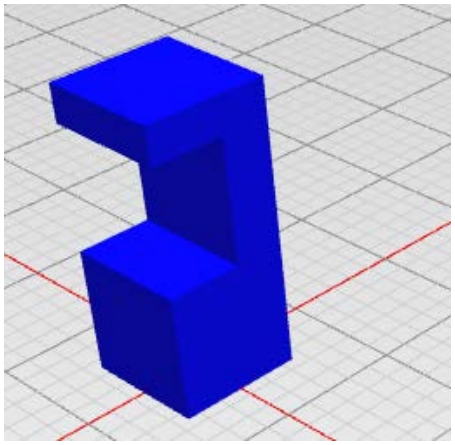


Рис. 4.216 Результат проектування кубоїдів

Далі необхідно імпортувати графіку свердла. Для цього потрібно натиснути на клавішу *«Graphic import»* у вкладці *«Edit»*. Попередньо необхідно змоделювати самостійно чи завантажити модель свердла (Підказка: Для зберігання моделей для імпорту рекомендовано обирати формат VRML для коректної роботи програми) рис.4.217.

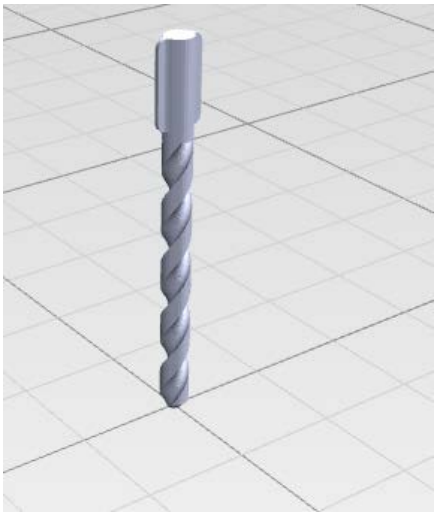


Рис. 4.217 Графіка змодельованого свердла

Після успішного імпорту натискаємо *«Ctrl»+3* та у вкладках *«Position»* та *«Scale»* (треба зменшити графіку, адже вихідна модель має великі розміри відносно наших кубоїдів) вказуємо наступні величини, як на рисунку 4.218.

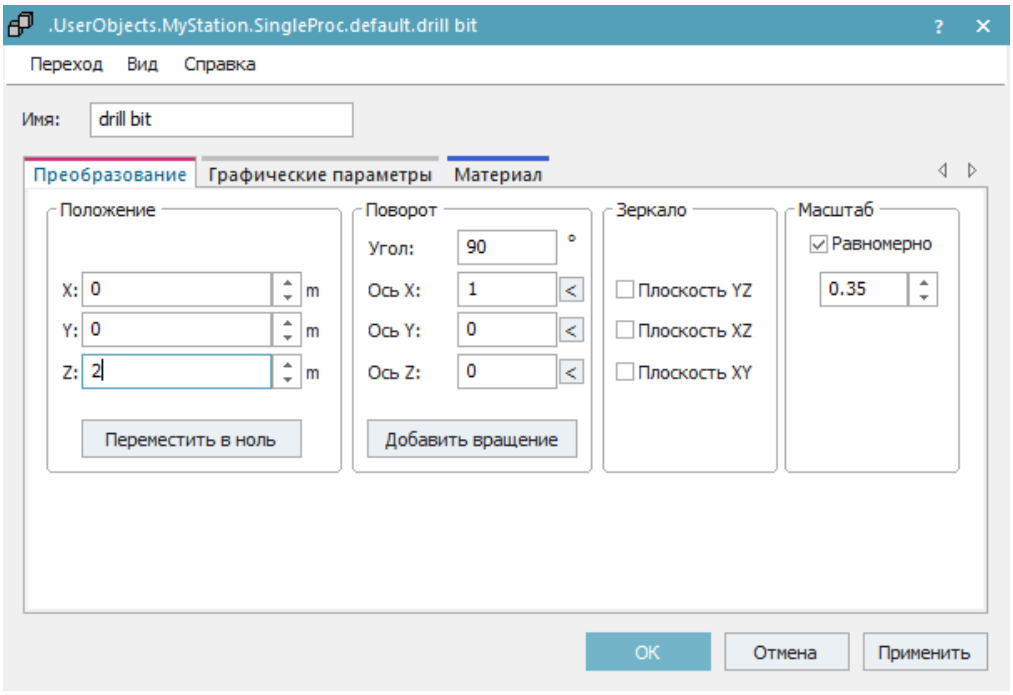


Рис. 4.218 Змінюємо положення та масштаб імпортованого свердла

Тепер необхідно натиснути ПКМ на свердло, обрати в контекстному меню *«Make animatable object»* та назвати його *«Drill»*. Після цього закриваємо вікно 3Д цієї станції.

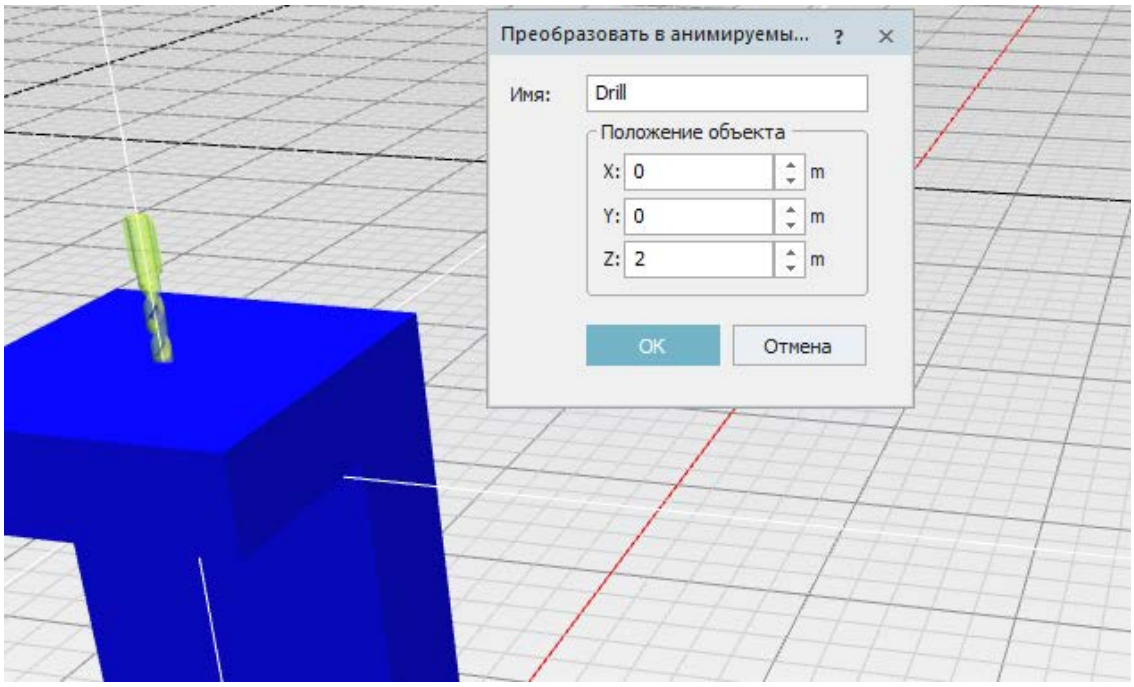


Рис. 4.119 Свердло «Drill»

Додаємо новий метод *Method*, який знаходиться на панелі інструментів, до нашої моделі та називаємо його *«onEntrance»* (рис. 4.220).

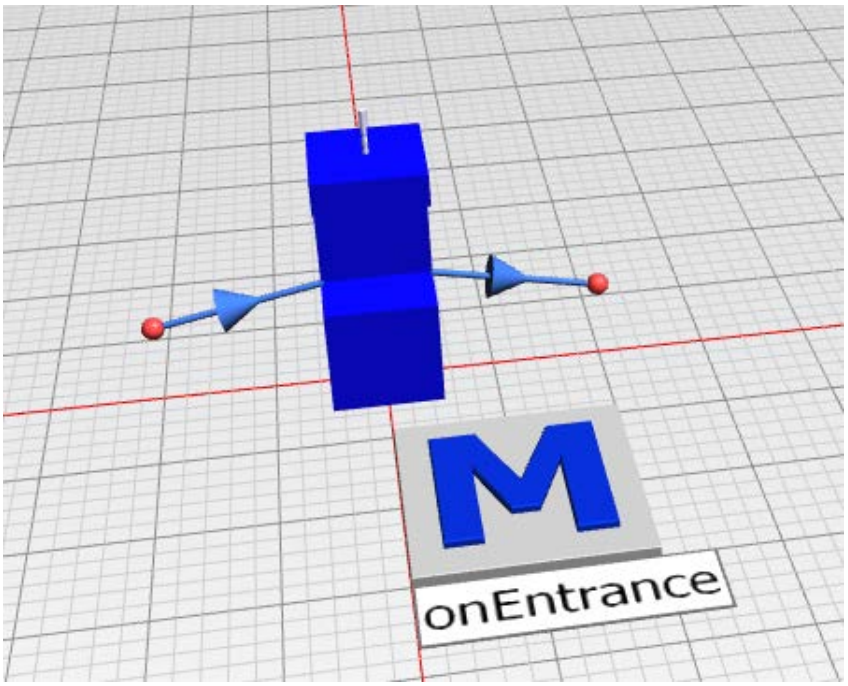


Рис. 4.220 Method «onEntrance»

Натискаємо двічі на нашу станцію та обираємо вкладку *«Event management»*. Натисніть на кнопку з трьома крапками та оберіть метод *«onEntrance»* як елемент управління входом. Ми також хочемо визначати час оброблення станції. З цією метою активуйте *«Before actions»* у цьому ж вікні (рис. 4.221).

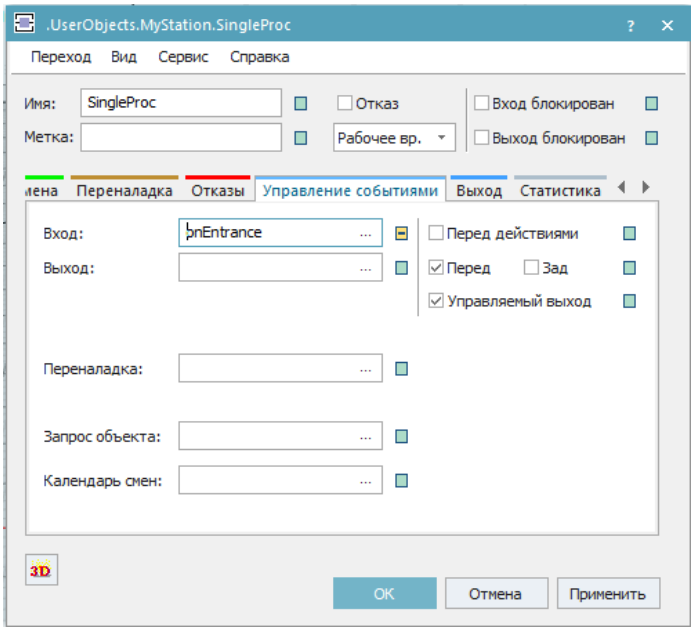


Рис. 4.221 Вибір методу «onEntrance» як елемента управління входом

Послідовність анімації складається з 4 кроків:

1) Свердлильна головка швидко рухається донизу та різко зупиняється перед деталлю

2) Свердлильна головка обертається та рухається повільно вниз, просвердлюючи наскрізний отвір

3) Свердлильна головка повільно рухається вгору, продовжуючи обертання

4) Свердлильна головка повертається у вихідне положення

Після всіх налаштувань та послідовного розбору анімації потрібно написати код анімації. Натискаємо два рази на метод та у вікні метода пишемо наступний код:

```
var d: length := @.MuHeight
var feedSlow: speed:= 0.01
var feedFast: speed:= 0.5
var timeForDrilling:= (d+0.05+0.01)/feedSlow
var timeForMoving:= (1-d-0.05)/feedFast
station.proctime:= 2*TimeForDrilling + 2*TimeForMoving
if is3Dopen and animIcon
    var Position1: length := d + 0.05
    var upPosition : real[3] := [0.0, 0.0, 0.0]
    var animaions: any := Station._3d.getObject("Drill").selfAnimations
```

```
        animations.resetAnimations

        var downPosition := real[3] := [0.0, 0.0, Position-1]
        animations.scheduleTranslation(upPosition, downPosition1, feedFast)
        animations.startNextAnimationblock

        var TargetAngle: integer := round (180*timeForDrilling)
        animations.scheduleRotation(0, targetAngle, 180)

        var downPosition2: real[3] := [0.0, 0.0, -1.01]
        animations.scheduleTranslation (downPosition, downPosition2,
feedSlow)

        animations.startNextAnimationblock
        animations.schedulerotation(0, TargetAngle, 180)
        animations.scheduleTranslation(downPosition2, downPosition,
feedSlow)

        anmations.startNextAnimationBlock
        animations.scheduleTranslation(downPosition, upPosition, feedFast)

        animations.play
    end
```

Після написання коду закриваємо це вікно.

Для того, щоб змоделювати процес, необхідно спочатку змоделювати виробничу лінію, що складається з джерела, станції *«MyStation»* та виходу (всі елементи можна перетягти з панелі інструментів). Всі елементи треба з’єднати за допомогою інструмента *Connector*.

Для відкриття налаштувань анімації треба двічі натиснути на годинник. В налаштуваннях вибираємо *«Real time»* та обираємо необхідну швидкість анімації (= 1 для реального часу) (рис. 4.222).

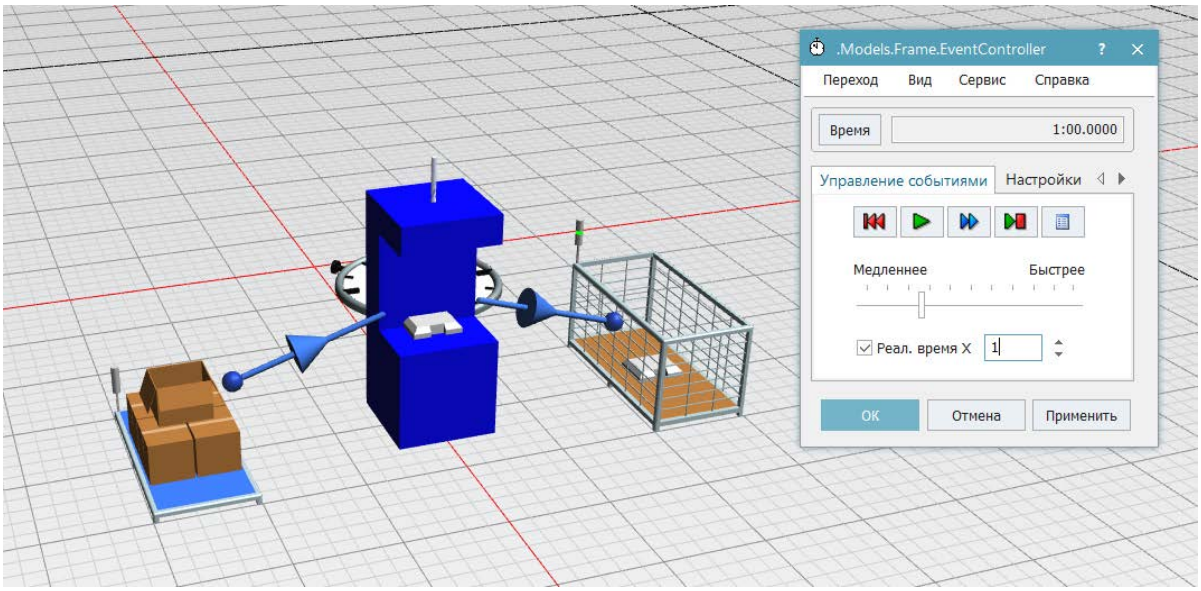


Рис. 4.222 Результат побудови імітаційної моделі

Завдання

1. Створити 3D симуляцію свердлильного верстату.
2. До створеної моделі додати час оброблення деталей.
3. Виконати необхідні експерименти та провести дослідження по кожному з них.

Таблиця 4.10 Вихідні дані

Перша цифра	Інструмент	Тип верстату	Друга цифра	Габарити верстату, x-y-z	MRR, мм^2/хв
0	Різець	Токарний	0	0,5-1,0-1,0	265
1	Фреза торцева	Фрезерний	1	1,0-1,5-1,5	480
2	Свердло	Свердлильний	2	1,5-2,0-2,0	677
3	Фреза дискова	Фрезерний	3	0,5-1,0-1,0	738
4	Свердло	Свердлильний	4	1,0-1,5-1,5	752
5	Різець	Токарний	5	1,5-2,0-2,0	265
6	Свердло	Свердлильний	6	0,5-1,0-1,0	480
7	Фреза торцева	Фрезерний	7	1,0-1,5-1,5	677
8	Свердло	Свердлильний	8	1,5-2,0-2,0	738
9	Різець	Токарний	9	0,5-1,0-1,0	752

Зміст протоколу

В протоколі навести фізичну модель виробничої лінії (у вигляді копії екрану). Висновки і пояснення. Додати файл імітаційної моделі виробничої лінії.

4.15 Експериментальні дослідження в менеджері з дослідів у середовищі Siemens Tecnomatix Plant Simulation

Створюємо нову модель, натиснувши «*Create New Model*», та обираємо *3D* (рис. 4.223).

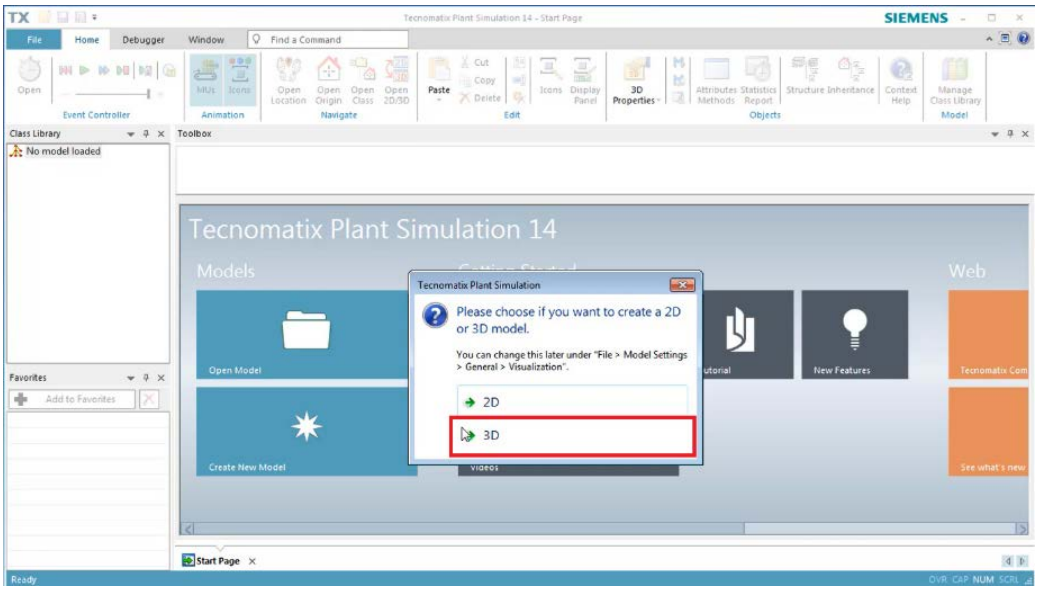


Рис. 4.223 Створення нової моделі

Приєднуємо «Джерело (Sourse)» до основної та до проміжної станції. З'єднуємо всі елементи моделі (рис. 4. 224)

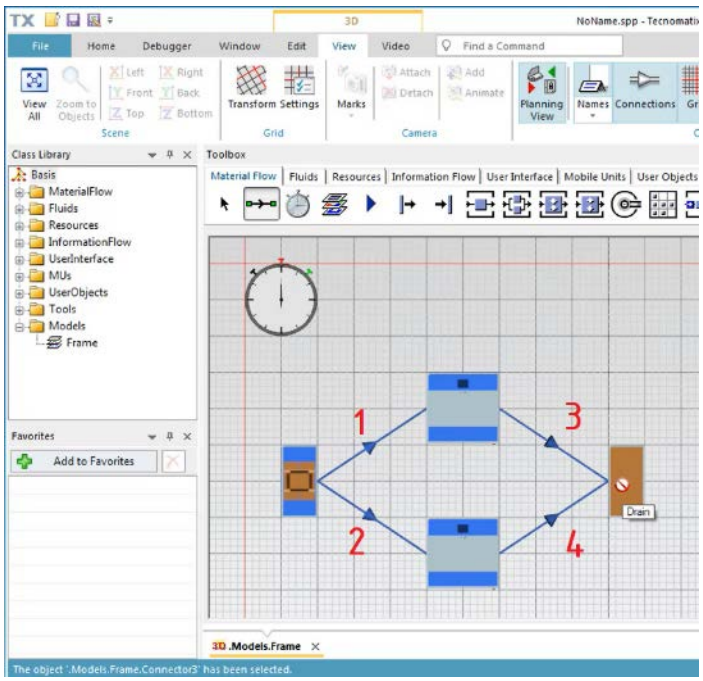


Рис. 4.224 Розташування верстатів та побудова ланцюгів

Налаштовуємо вихідні параметри об'єкту *«Джерело» («Sourse»)*. Для цього вибираємо його подвійним натисканням клавіши ЛКМ та переходимо до вкладки *«Вихід» («Exit»)*, обираємо стратегію виходу *«Начать с 1-го последователя»* (рис. 4. 225).

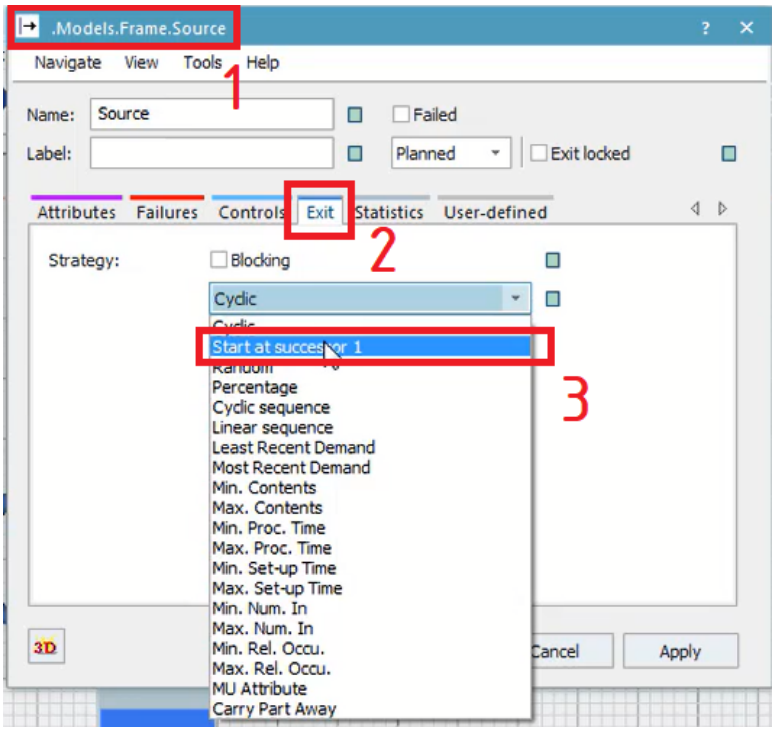


Рис. 4.225 Налаштування виходу заготовок

Для імітації збоїв у роботі основного верстату у параметрах станції переходимо до вкладки *«Сбои» («Failure»)* та приймаємо значення за замовчуванням (рис. 4.226).

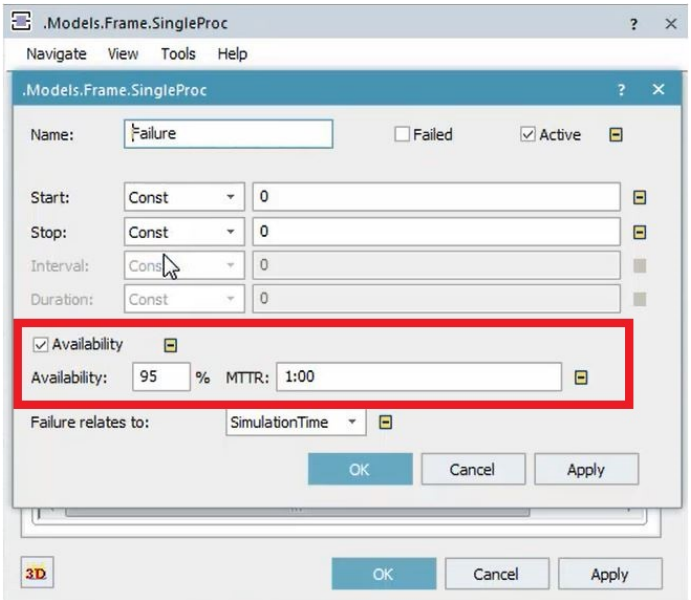


Рис. 4.226 Налаштування відсотку збоїв першої станції

Для завершення моделювання через певний проміжок часу, відкриваємо діалог контролера подій, перевіряємо вкладку з налаштуваннями і тип часу проходження (рис. 4.227).

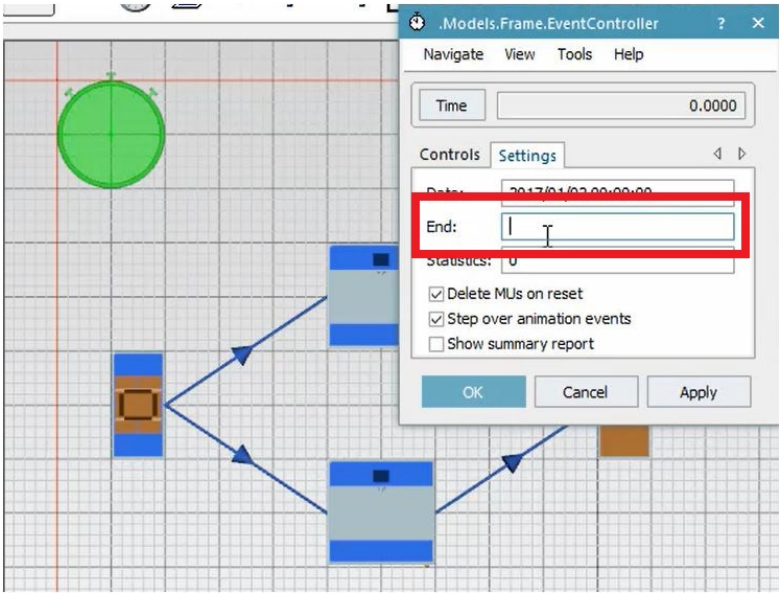


Рис. 4.227 Налаштування контроллера на відключення симуляції через певний проміжок часу

Додаємо експеримент в диспетчері імітаційної моделі. Ви знайдете менеджер у вкладках інструменту на панелі з інструментами. Відкрийте його і налаштуйте експеримент (рис. 4.228).

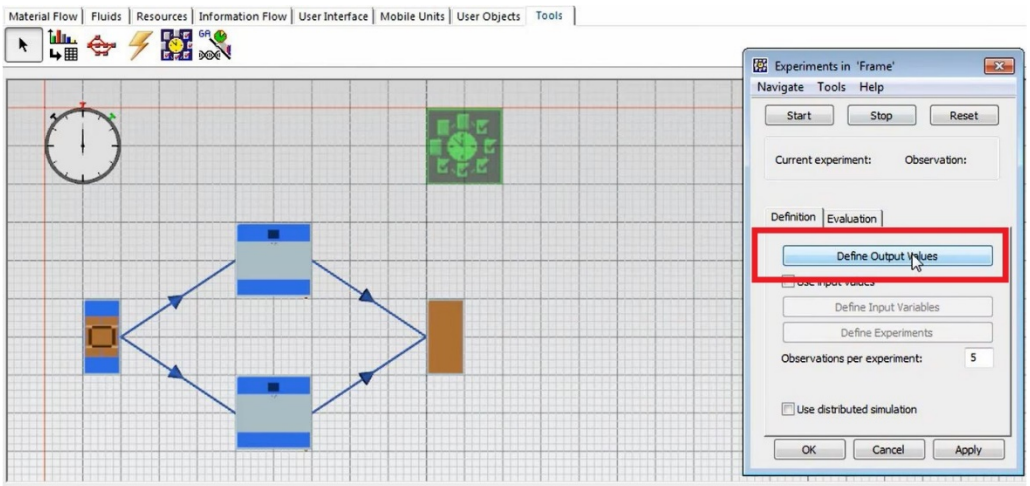


Рис. 4.229 Створення експерименту

Вказуємо вихідні значення для імітаційного дослідження. Переміщаємо допоміжну станцію в перший рядок таблиці, а основну – у другий рядок таблиці експерименту (рис. 4.230).

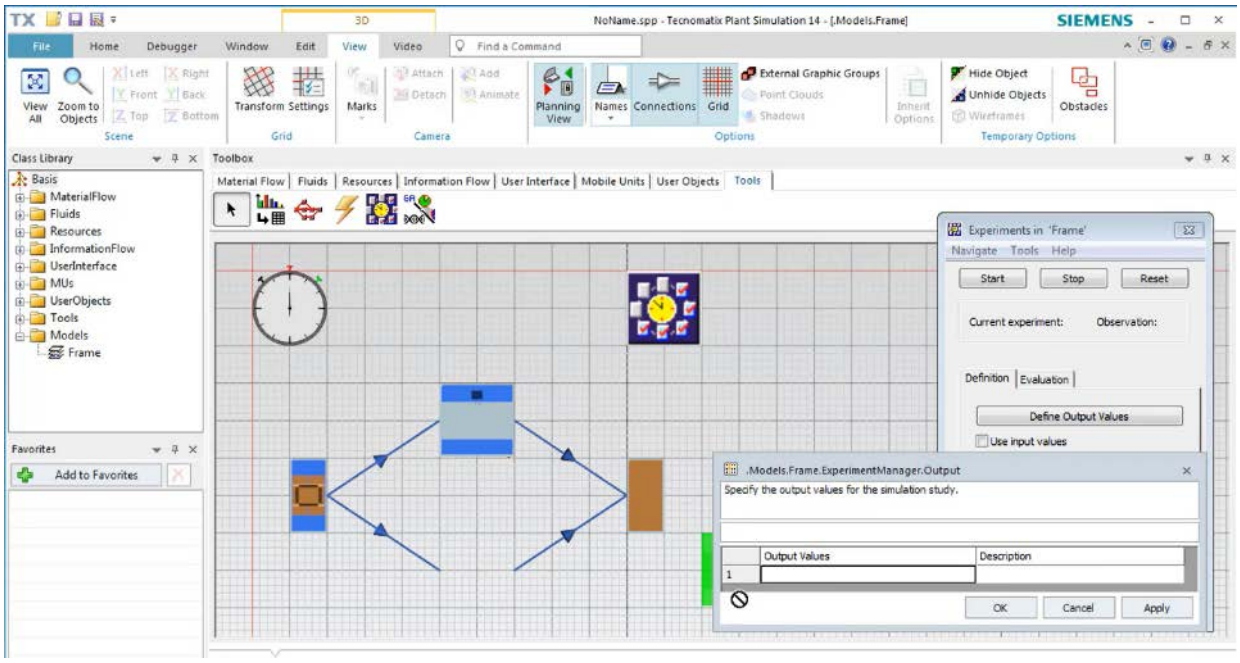


Рис. 4.230 Встановлення параметрів експерименту

Вводимо необхідні параметри у відповідні чарунки таблиці та натискаємо *«Подтвердить» («Apply»)* (рис. 4.231).

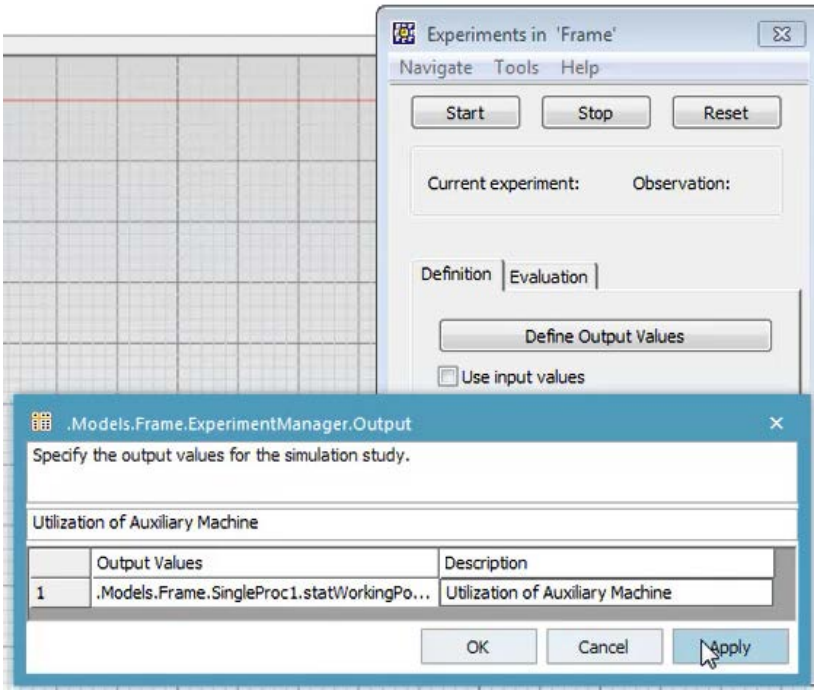


Рис. 4.231 Запуск першої перевірки

Менеджер досліду виконує 5 симуляцій з різними результатами, пов’язаних із збоями в роботі першої станції.

Після завершення симуляції отримуємо звіт статистики вихідних значень та графік, на якому вказані мінімальні і максимальні значення

коливань, які часто розглядаються для простої оцінки і дають більш детальну оцінку відхилення (рис. 4.232).

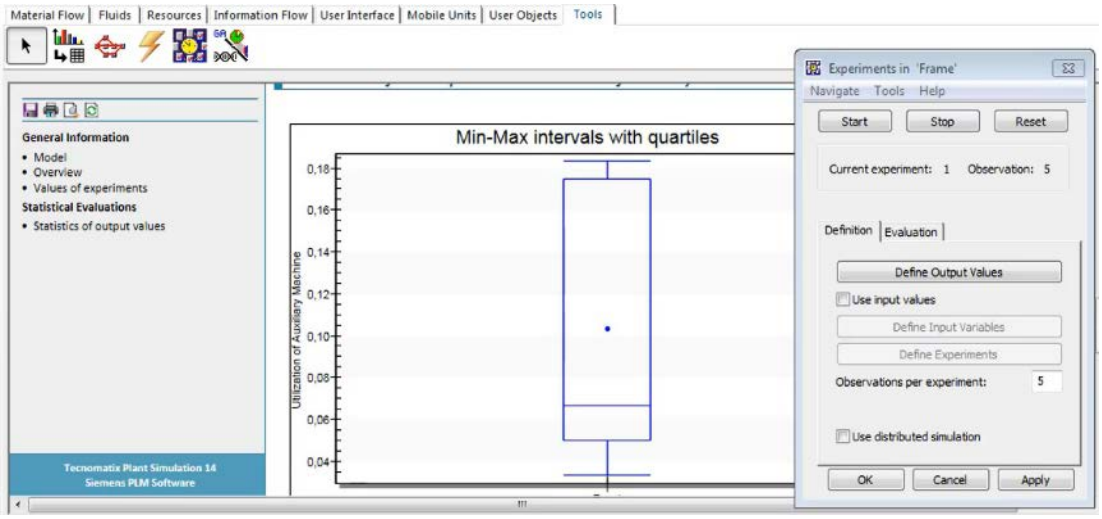


Рис. 4.232 Звіт експерименту

На вкладинці *«Assessment»* менеджера досліда обираємо *«Detailed Results»*, щоб відкрити таблицю з числовими результатами (рис. 4.233).

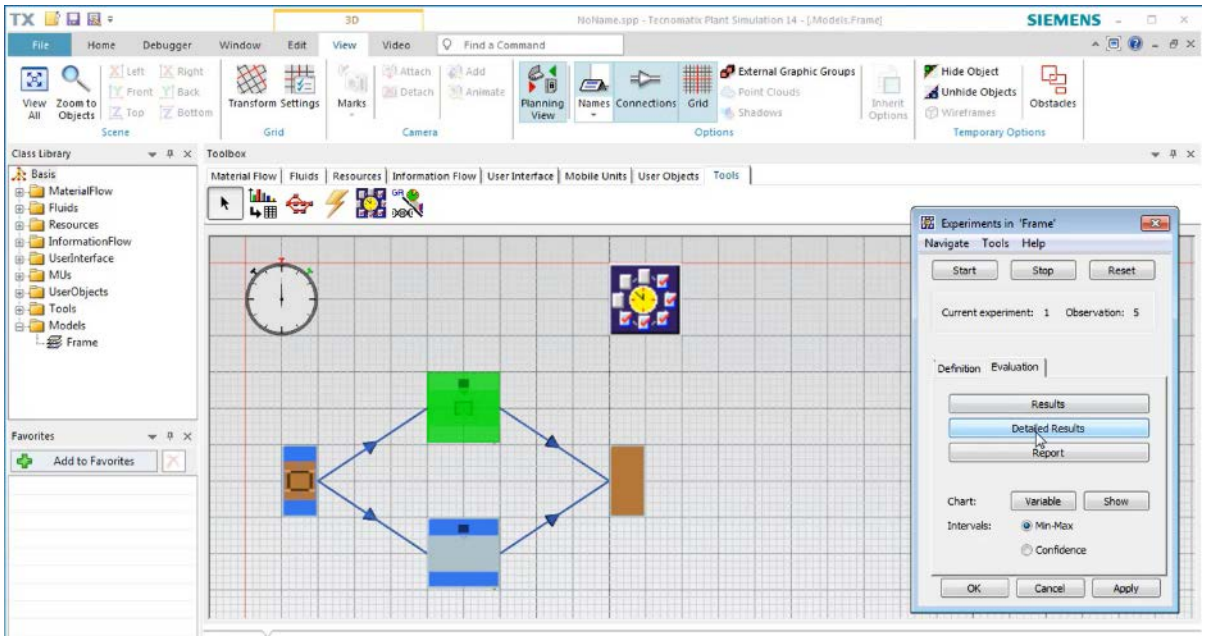


Рис. 4.233 Вибір числової форми стандартних відхилень

Типові статистичні значення, такі як середнє значення і стандартне відхилення, відображаються в числовій формі, точність середнього значення дорівнює описаним довірчим інтервалам. Пам'ятайте, що за результатами даного експерименту можна зробити тільки припущення про стохастичну модель із заданим парним рівнем достовірності (рис. 4.234).

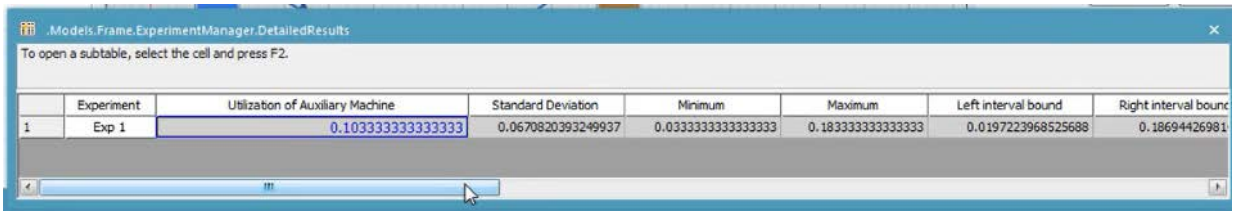


Рис. 4.234 Статистичний аналіз результатів

Рівень достовірності результатів говорить про те, з якою ймовірністю істинне середнє значення знаходиться в межах ймовірності інтервалу за замовчуванням, значення рівня збоїв управління становить 95%.

Для перевірки впливу доступності основної станції та використання допоміжної в менеджері дослідів обираємо *«Use input values»* (рис. 4.235).

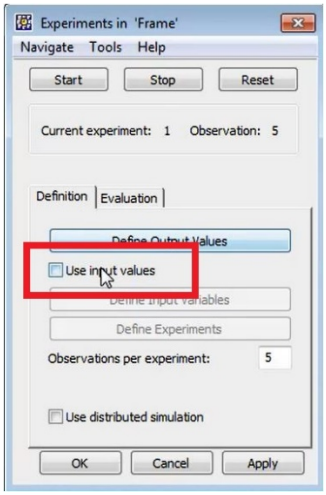


Рис. 4.235 Вибір вхідних значень змінних

Це дозволить вводити вхідні значення періоду (рис. 4.236).

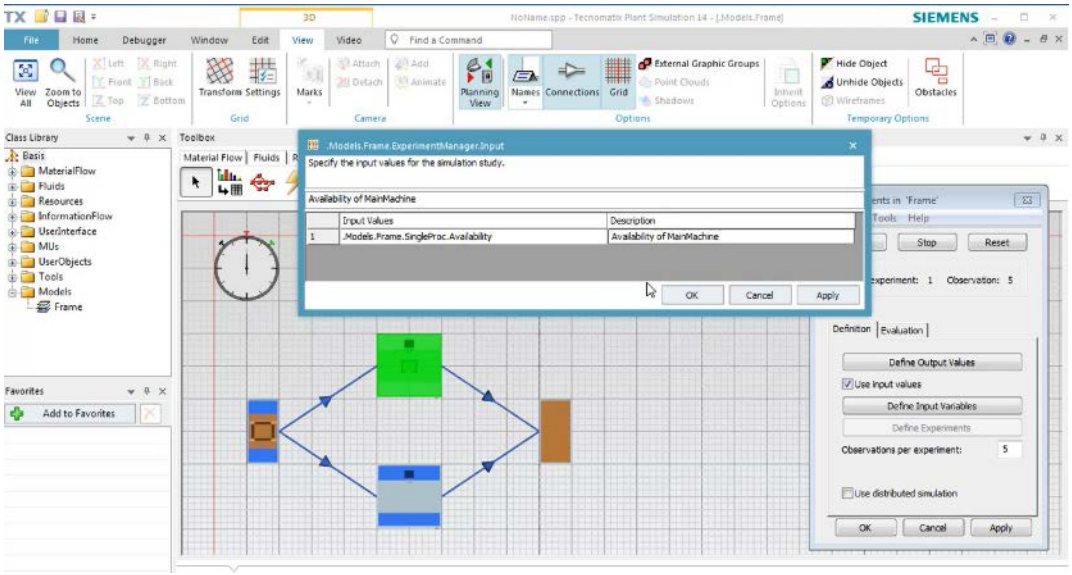


Рис. 4.236 Введення вхідних значень періоду

Натискаємо кнопку для визначення експериментів в таблиці (рис. 4.237 та рис. 4.238).

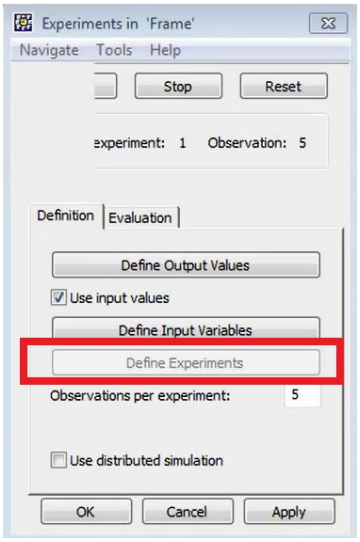


Рис. 4.237 Заповнення таблиці досліду

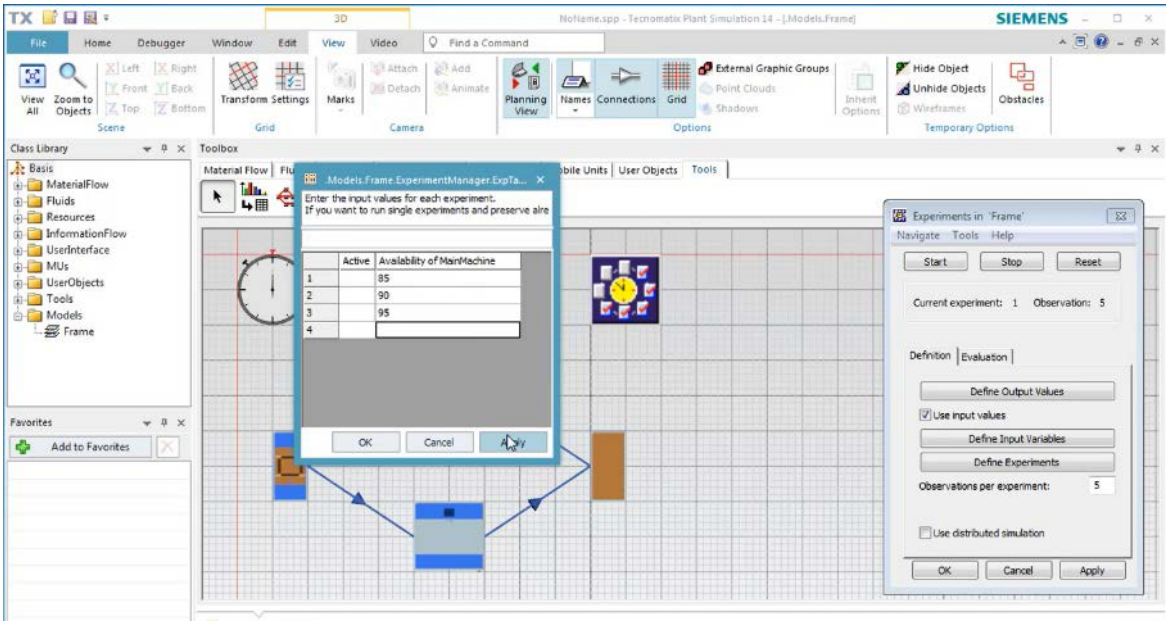


Рис. 4.238 Введення параметрів досліду

Отримуємо звіт проведеного досліду (рис. 4. 239)

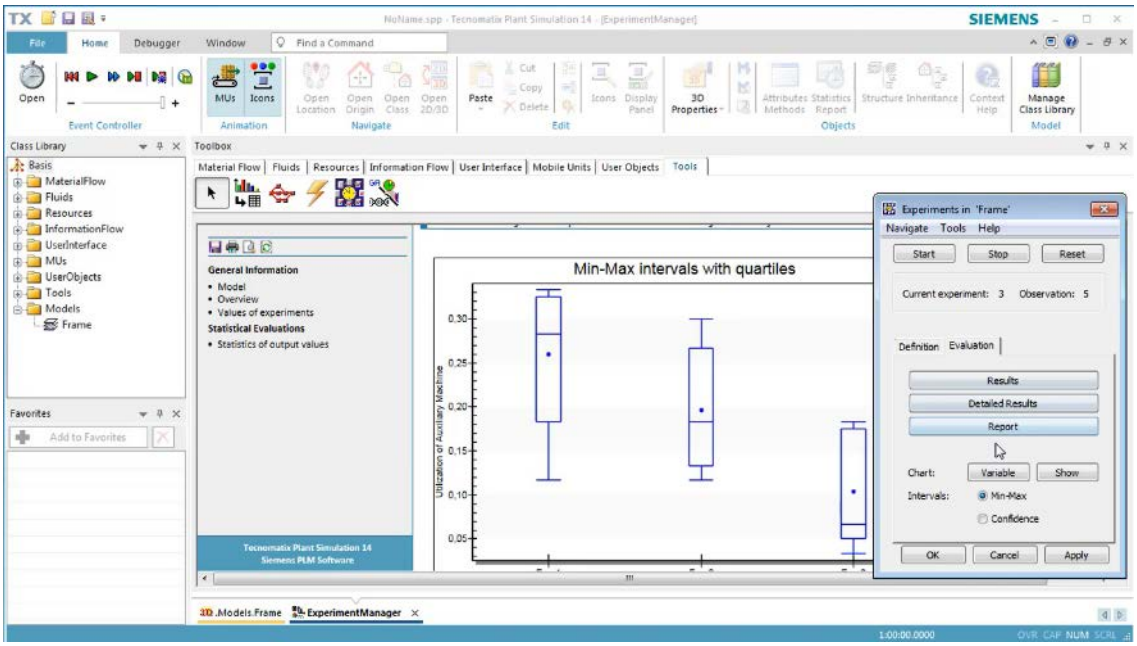


Рис. 4.239 Звіт експерименту

Щоб вивести результати трьох експериментів на одній вкладці оцінки, обираємо показ мінімальних інтервалів Max або довірчі інтервали. Діаграма показує кількість окремих експериментів по осі X і подані значення вихідних значень по осі Y, котрі показують очікуваний взаємозв'язок між доступністю основної станції та допоміжної (рис. 4.240).

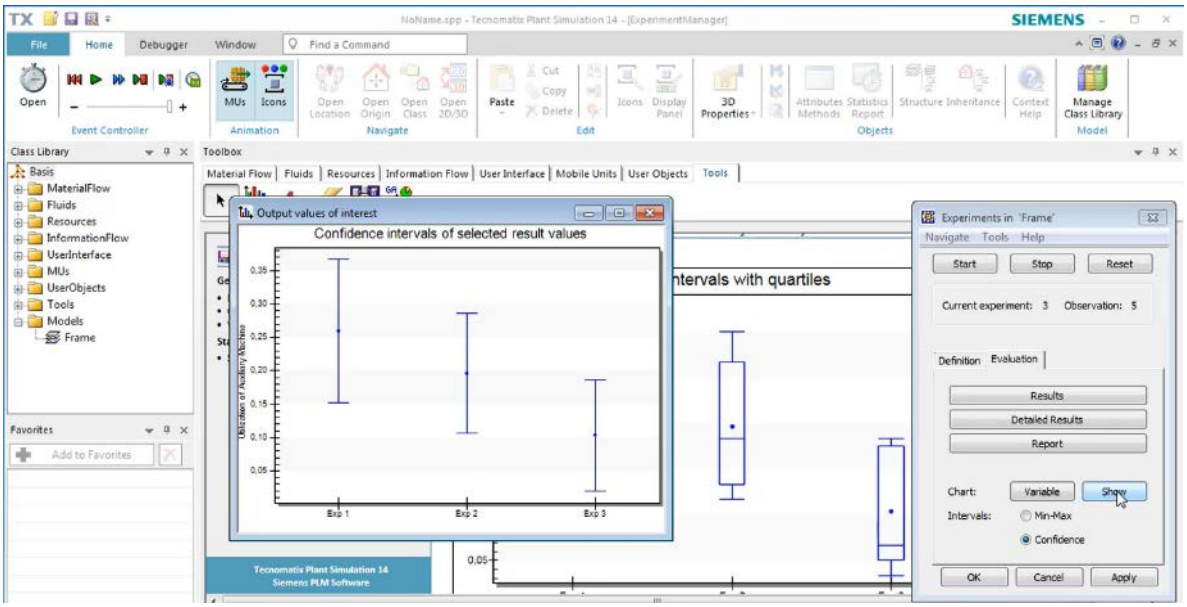


Рис. 4.240 Статистичні значення експерименту

Очевидно, що вся доступність основної станції призводить до зменшення роботи на допоміжній.

Іншими словами, спостерігаються відмінності між результатами випадкової поведінки моделі, тому необхідні подальші дослідження.

Щоб отримати результати з більшою надійністю, необхідно виконати більше спостережень за експериментом для цього вводимо більшу кількість експериментів (рис. 4.241).

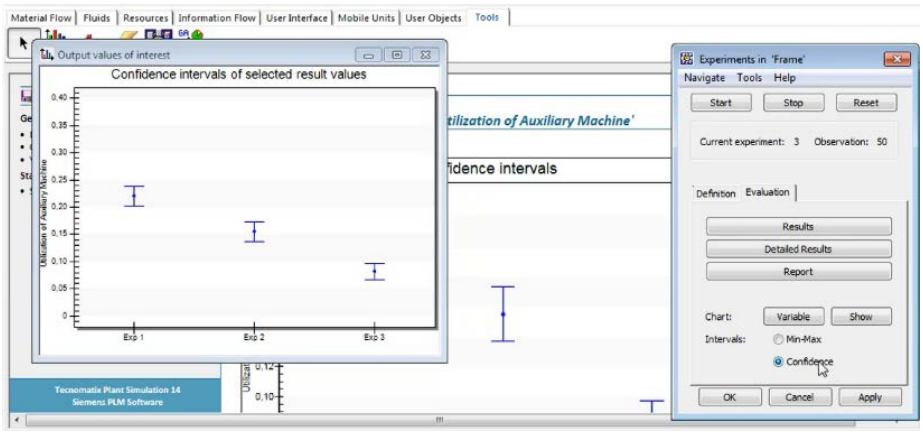


Рис. 4.241 Результати 50 експериментів

Збільшення кількості спостережень призводить до зменшення ширини довірчих інтервалів, що дає більшу впевненість в результатах експерименту.

Завдання

1. Створити 3D-модель виробничої дільниці.
2. До створеної моделі додати час оброблення деталей.
3. Виконати необхідні експерименти та провести дослідження по кожному з них.

Таблиця 4.11 Вихідні дані

Перша цифра	Час операції №1, год.	Час операції №2, год.	Друга цифра	Відсоток збоїв, %	Кількість експериментів Дослід №2
0	1	1,1	0	95	10
1	1,2	2,5	1	90	5
2	3	0,25	2	91	20
3	0,5	0,1	3	50	50
4	1,1	1	4	65	25
5	2,5	1,2	5	85	10
6	0,25	3	6	90	15
7	0,1	0,5	7	85	5
8	2	1,1	8	45	15

Зміст протоколу

У протоколі навести фізичну модель виробничої лінії, результати експериментів. Висновки і пояснення. Додати файл імітаційної моделі виробничої лінії.

4.16 Використання бібліотеки «Cranes and More» у імітаційній моделі

Для моделювання виробничої дільниці з використанням кран-балок необхідно запустити програмний додаток *«Tecnomatix Plant Simulation»*. Щоб створити нову модель, натисніть кнопку *«Create New Model»*. Для виконання даної лабораторної роботи оберіть 3D-модель.

У менеджері бібліотеки класів слід активувати бібліотеку «Cranes and More» (рис. 4.242 та рис. 4. 243).

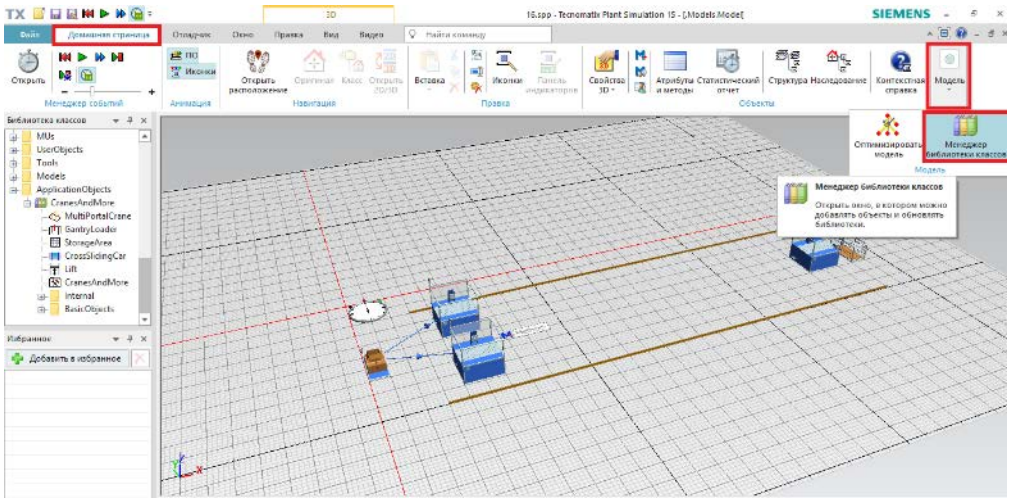


Рис. 4.242 Місцезнаходження вкладки «Менеджер бібліотек класів»

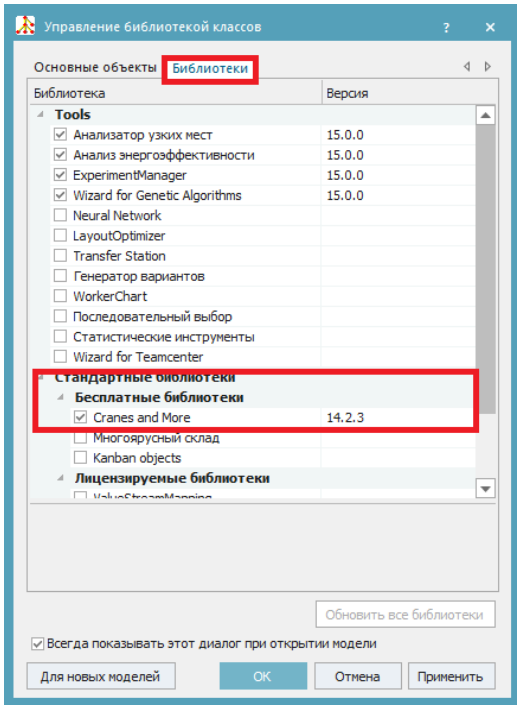


Рис. 4.243 Активація бібліотеки «Cranes and More»

Створіть модель виробничої дільниці, для якої необхідно провести симуляцію роботи крану (рис. 4.244).

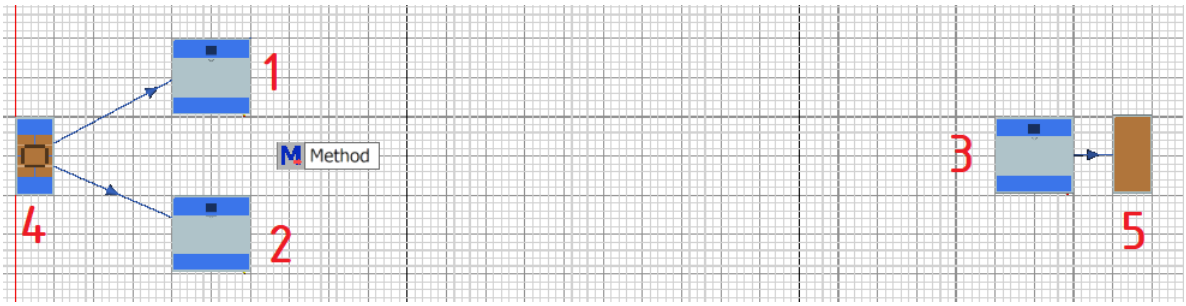


Рис. 4.245 Виробнича дільниця

Після чого заходимо у вкладку *Cranes* і обираємо пункт *MultiPortalCrane*. Перед нами відкривається діалогове вікно для вставки об'єкта, який орієнтується по довжині. Вставляємо кран таким чином, щоб він охоплював всі необхідні нам елементи дільниці (рис. 4.246 та рис. 4.247).

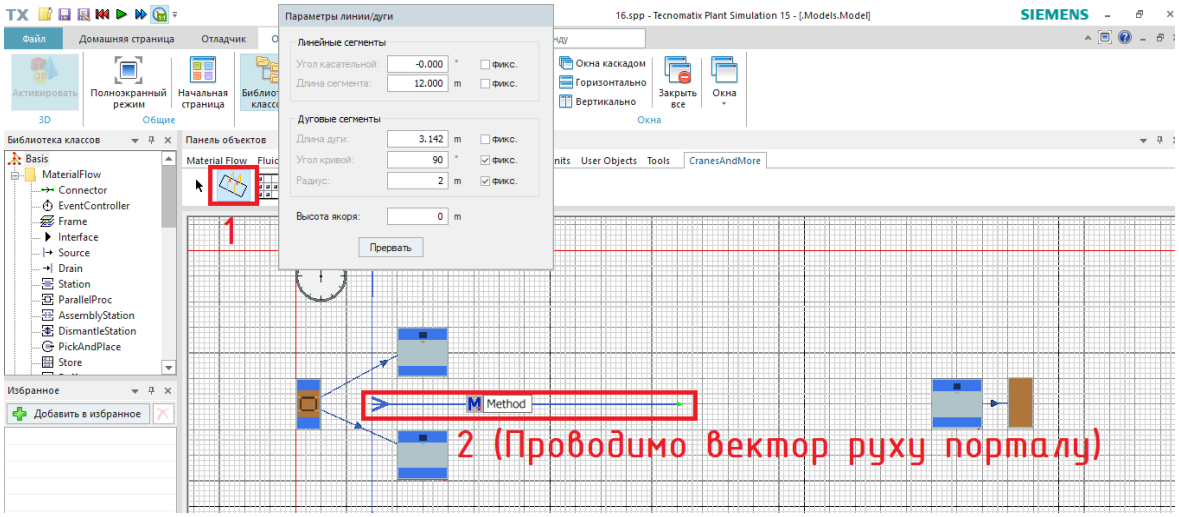


Рис. 4.246 Розміщення та орієнтація порталу

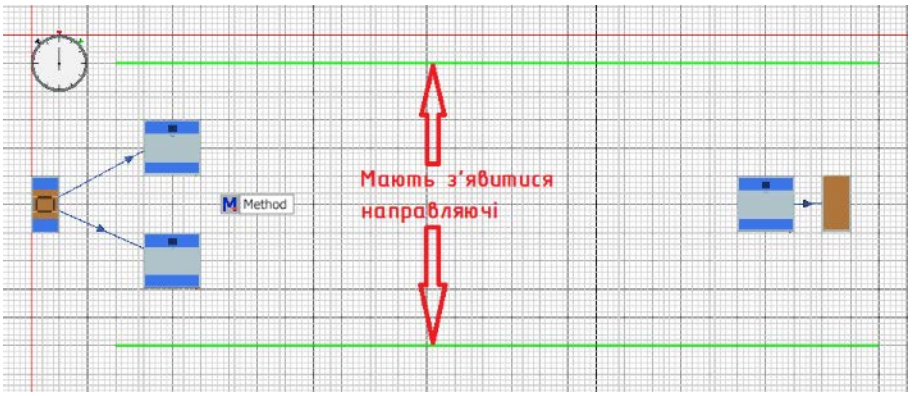


Рис. 4.247 Наглядний приклад розміщення

Для зміни вектора руху порталу, відкрийте контекстне меню і натисніть *«Показать манипуляторы» («Show Manipulators»)* (рис. 4.248).

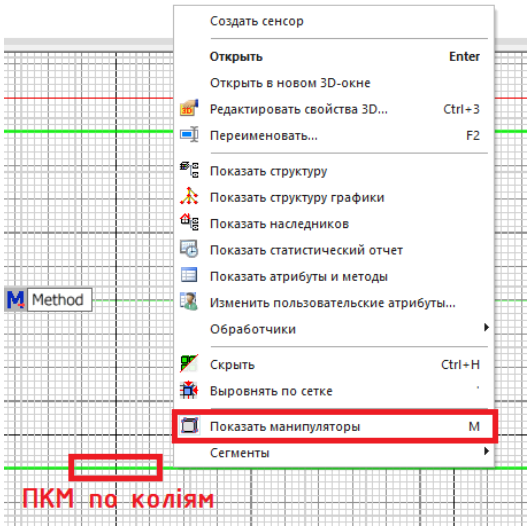


Рис. 4.248 Вікно редагування положення порталу

Таким чином можна змінювати напрям та довжину порталу за необхідності.

Відкрийте діалогове вікно *MultiPortalCrane* подвійним натиском на одну з колій. Перед нами з'являється вікно налаштування параметрів порталу. У вкладці *Crane Runway* задаємо ширину між опорами порталу, висоту та довжину напрямних рейок, по яким він переміщується.

У вкладці *Portal* задаємо габаритні параметри порталу. Вводимо параметри, які нас цікавлять, та натискаємо кнопку ОК, щоб закрити дане діалогове вікно (рис.4. 249).

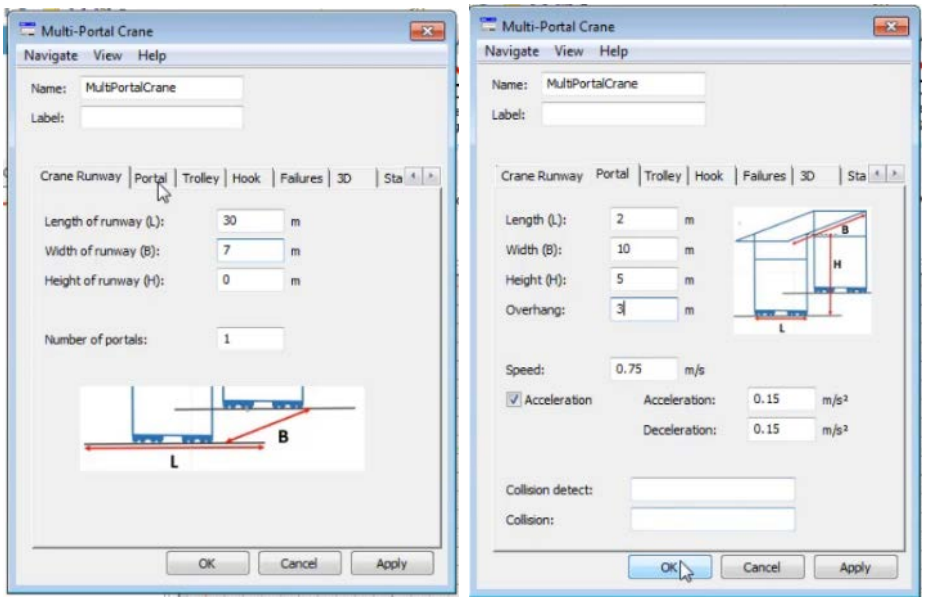


Рис. 4.249 Діалогові вікна налаштування параметрів порталу

ступним кроком є перевірка, що портал може досягнути усіх необхідних нам станцій.

Для керування роботою порталу додаємо об'єкт *«Method»* із розділу *«Information Flow»* та перейменовуємо його (клавіша *F2*) в *onExit* (рис. 4.250).

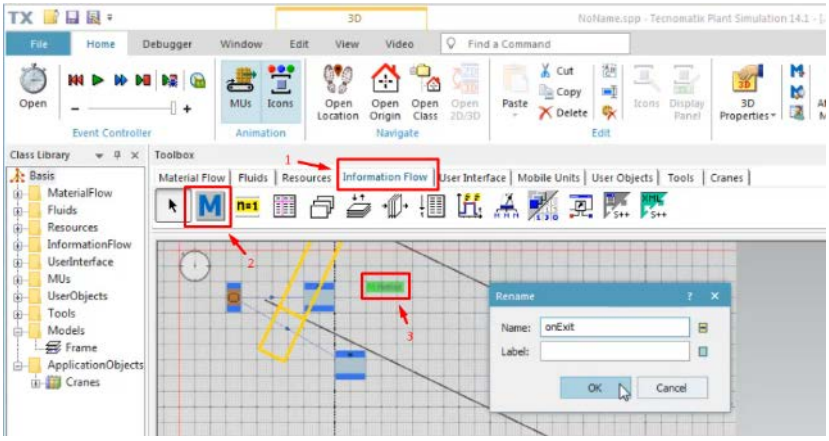


Рис. 4.250 Створення метода onExit

Подвійним натиском на кнопку «метод» отримуємо доступ до діалогового вікна програмування. Вводимо наступний код роботи (рис. 4.251).

```
var Portal : object := MultiPortalCrane.Portal1
waituntil Portal.state ="idle"
Portal.transferMU(?, Station2)
```

Рис. 4.251 Приклад коду керування порталом

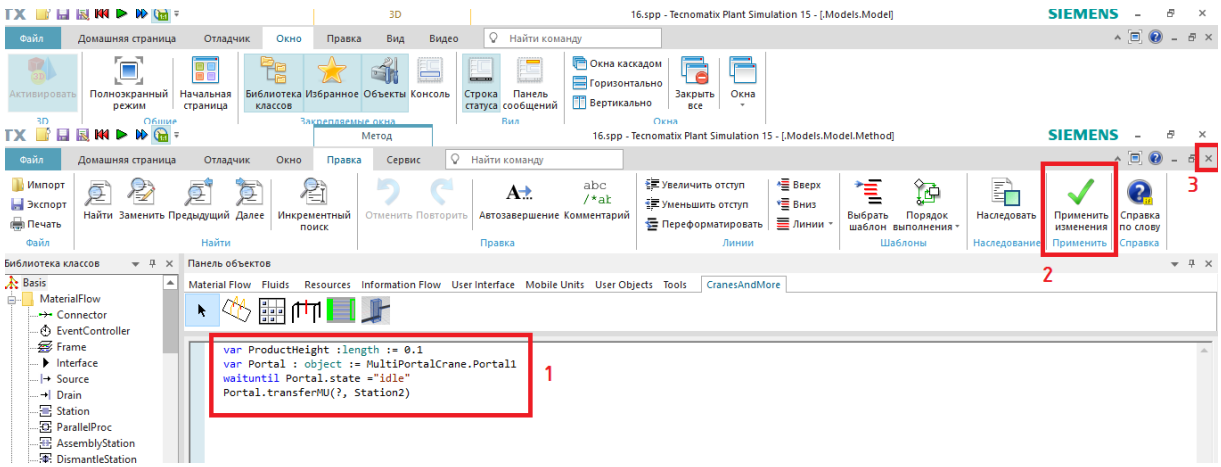


Рис. 4.252 Послідовність дій при написанні коду керування порталом

Подвійним натиском на контролер подій відкриваємо меню (рис. 4.253), у якому є можливість (поставивши галочку напроти *«Real-time x»*) запустити симуляцію у реальному часі.

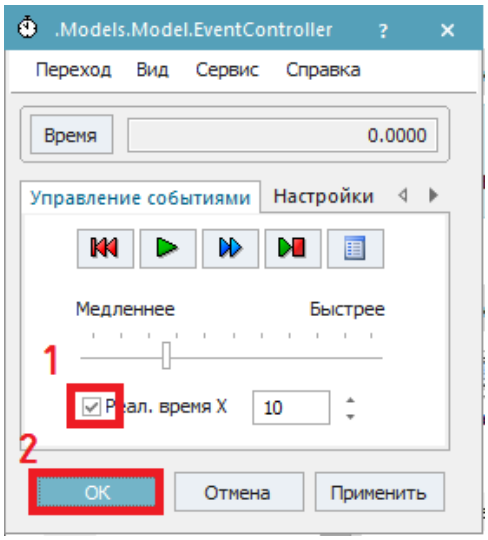


Рис. 4.253 Запуск симуляції у реальному часі

У розділі «*View*» у вкладці «*Planning Viev*» запускаємо дану симуляцію у режимі 3D (рис. 4.254)

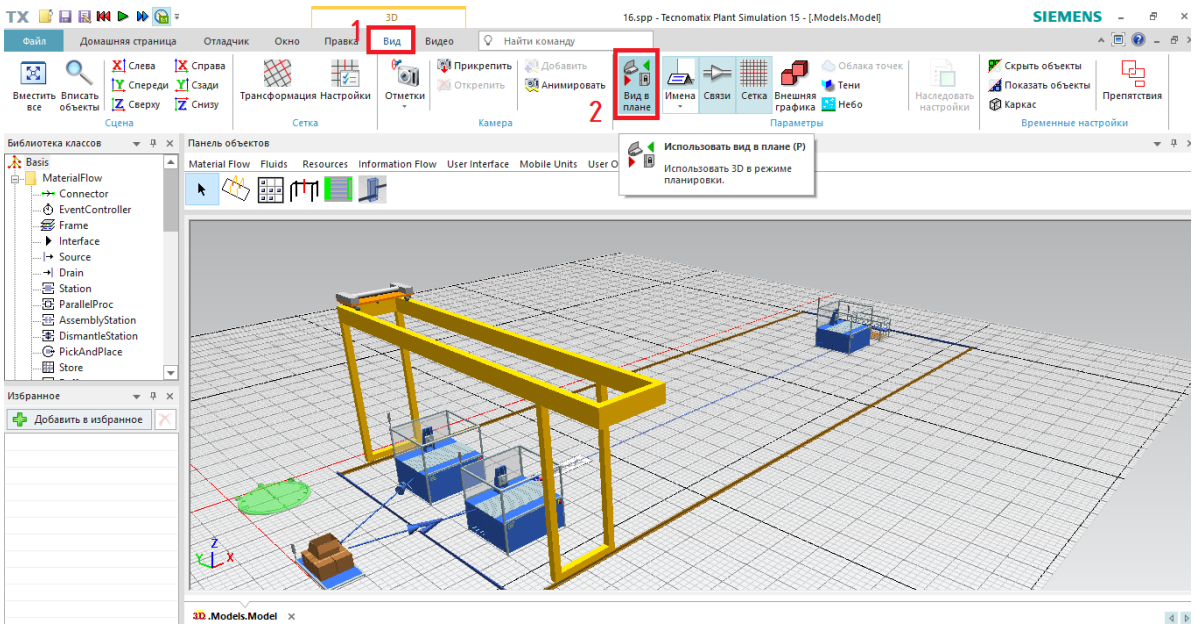


Рис. 4.254 Симуляція роботи порталу у реальному часі

Завдання

1. Підключити бібліотеку «*Cranes and More*» до своєї моделі.
2. Засвоїти методику роботи із елементом «*MultiPortalCrane*», задання габаритних розмірів крану та траєкторії його руху.
3. Засвоїти методику програмування руху крана за допомогою об’єкт «*Method Information Flow*».
4. Провести симуляцію роботи порталу та зробити висновки.

Таблиця 4.12 Вихідні дані

Перша цифра	Час операції №1, год.	Час операції №2, год.	Друга цифра	Швидкість переміщення порталу, м/хв.	Кількість верстатів що приймають вантаж
0	1	1,1	0	20	2
1	1,2	2,5	1	10	1
2	3	0,25	2	5	2
3	0,5	0,1	3	15	1
4	1,1	1	4	45	3
5	2,5	1,2	5	8	2
6	0,25	3	6	5	1
7	0,1	0,5	7	15	3
8	2	1,1	8	21	2

Зміст протоколу

У протоколі навести фізичну модель виробничої лінії, статистику ресурсі за кожну станцію. Висновки і пояснення. Додати файл імітаційної моделі виробничої лінії.

4.17 Робота та використання портального крану

Після запуску програмного додатку необхідно створити нову модель за допомогою команди *“Create New Model”* (рис. 4.255). У наступному діалоговому вікні необхідно обрати тип моделі: двовимірна (2D) або тривимірна (3D). Обираємо 3D модель.

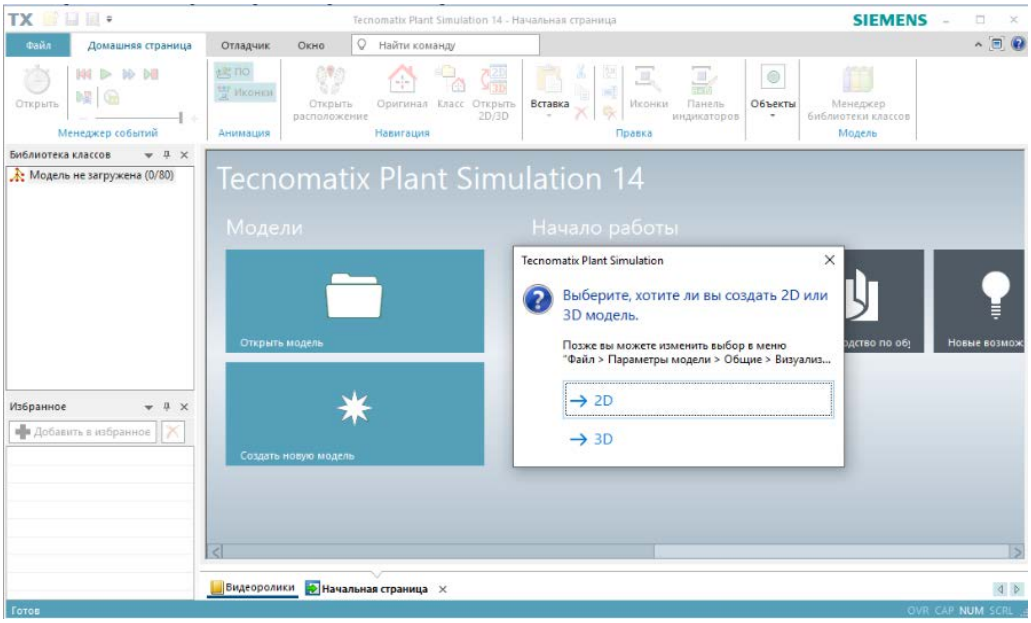


Рис. 4.255 Створення нової моделі

Для початку виконання лабораторної роботи потрібно підключити додаткову бібліотеку *«Crans»*. Для цього натисніть кнопку *«Manage Class Library»* (рис. 4.256) на вкладці, що відкриється, оберіть потрібний пункт, у нашому випадку *«Crans»*.

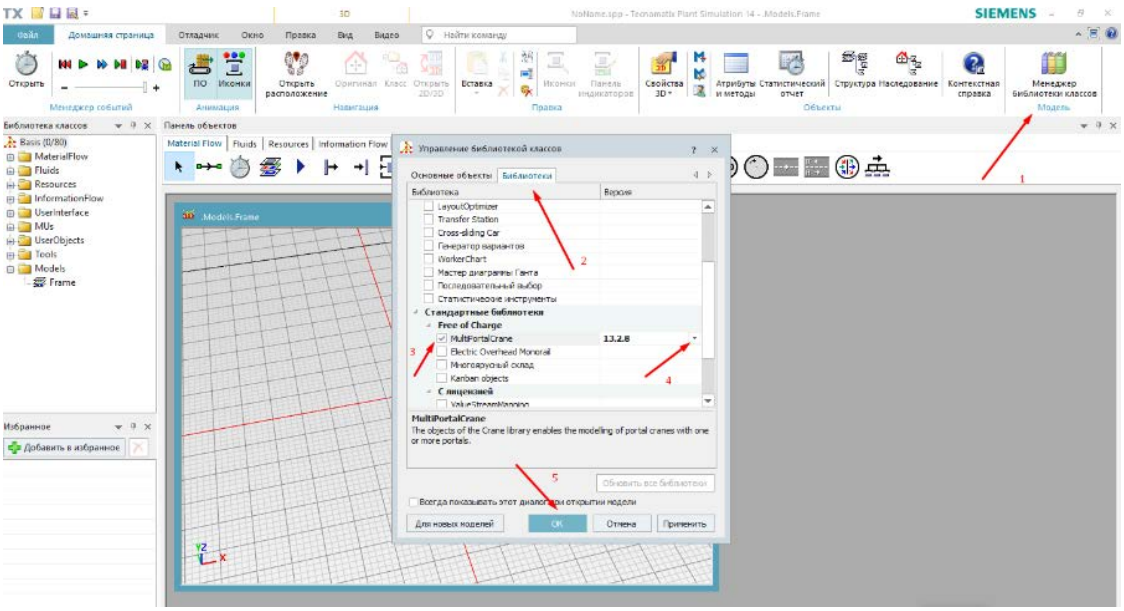


Рис. 4.256 Загальний вигляд менеджеру бібліотек та потрібний пункт

При проектуванні зручно використовувати режим перегляду *“Вид в плані”* (рис. 4.257), для цього необхідно обрати вкладку *“Вид”* → *“Вид в плані”*.

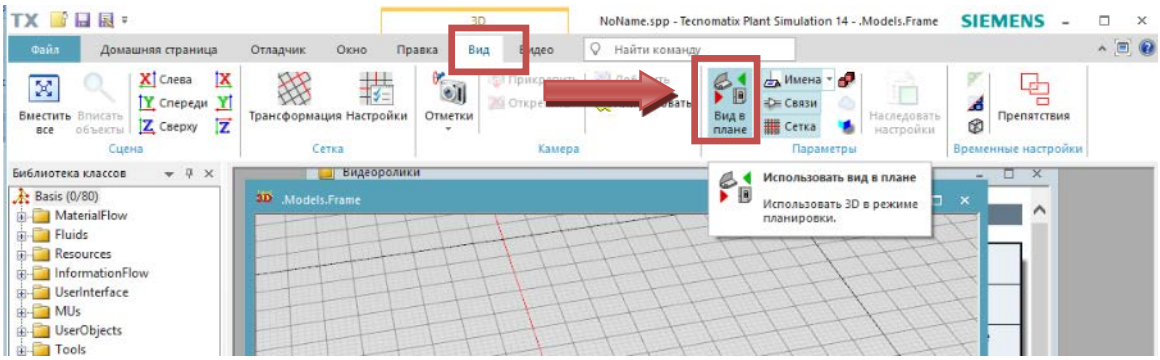


Рис. 4.257 Вибір режиму перегляду

Переходимо до моделювання:

1. <u>Створюємо місце для зберігання</u>

Відкриваємо підключену бібліотеку *«Cranes»* (рис. 4.258) та обираємо *«StorageArea»*, далі обираємо розташування області зберігання, після чого вводимо відповідні параметри (рис. 4.259)

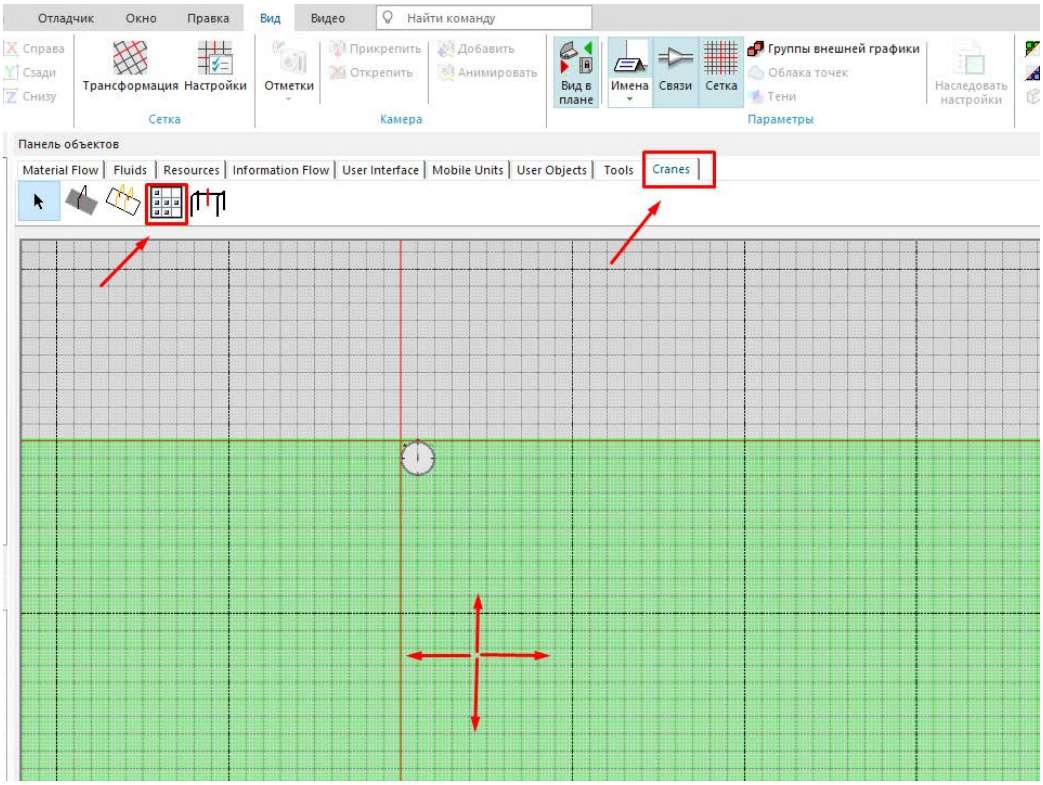


Рис. 4.258 Моделювання області зберігання

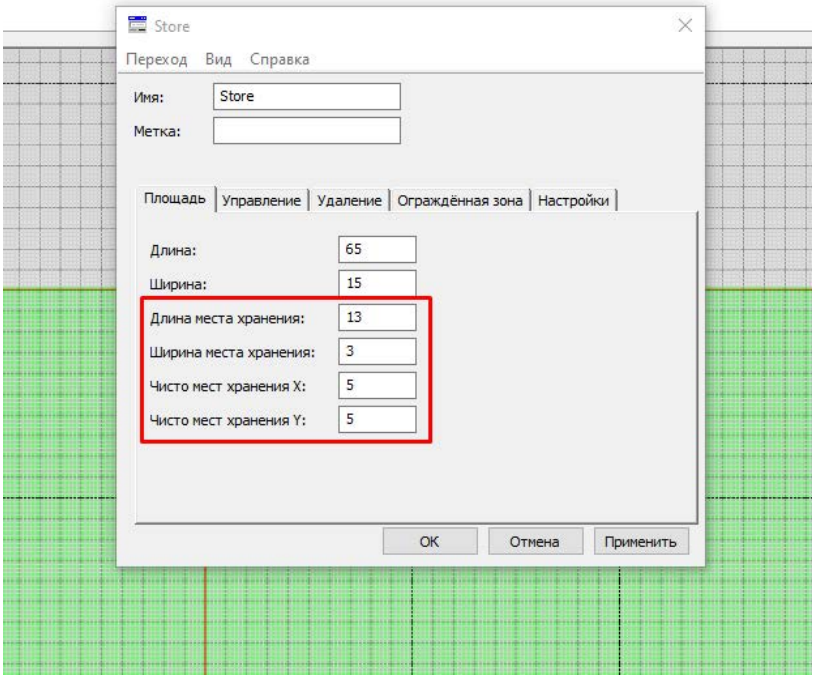
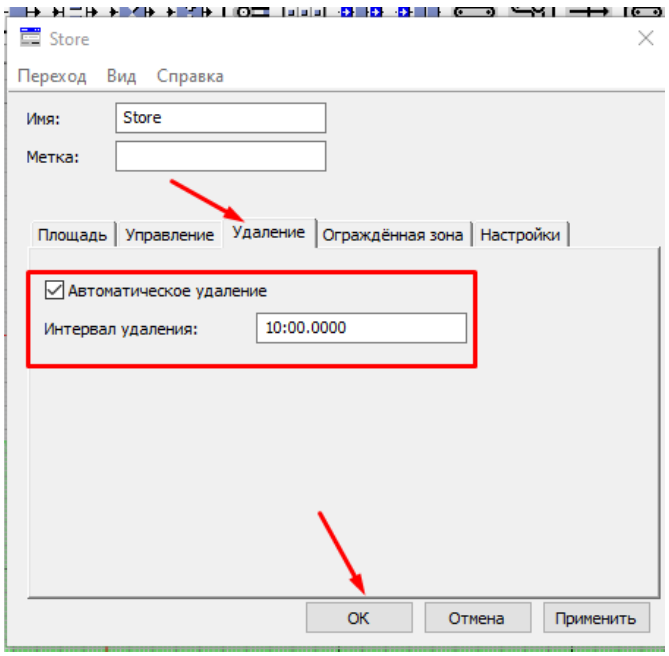


Рис. 4.259 Необхідні налаштування для області зберігання

Також підключимо автоматичне вивантаження кожного 10-го контейнеру, для цього в налаштуваннях області зберігання перейдіть до вкладки «*Removing*» (*«Удаление»*) (рис. 4.260) та оберіть «*Automatic removing*» (*«Автоматическое удаление»*), задавши значення 10:00.0000.



Р*ис. 4.260 Налаштування автоматичного вивантаження*

2. ***Створимо портальний кран***

Далі моделюємо сам портальний кран, шляхом натискання на іконку «*MultiPortalCrane*» (рис.4.261) переходимо до меню створення портального

крану. Обираємо напрям і довжину його направляючої.

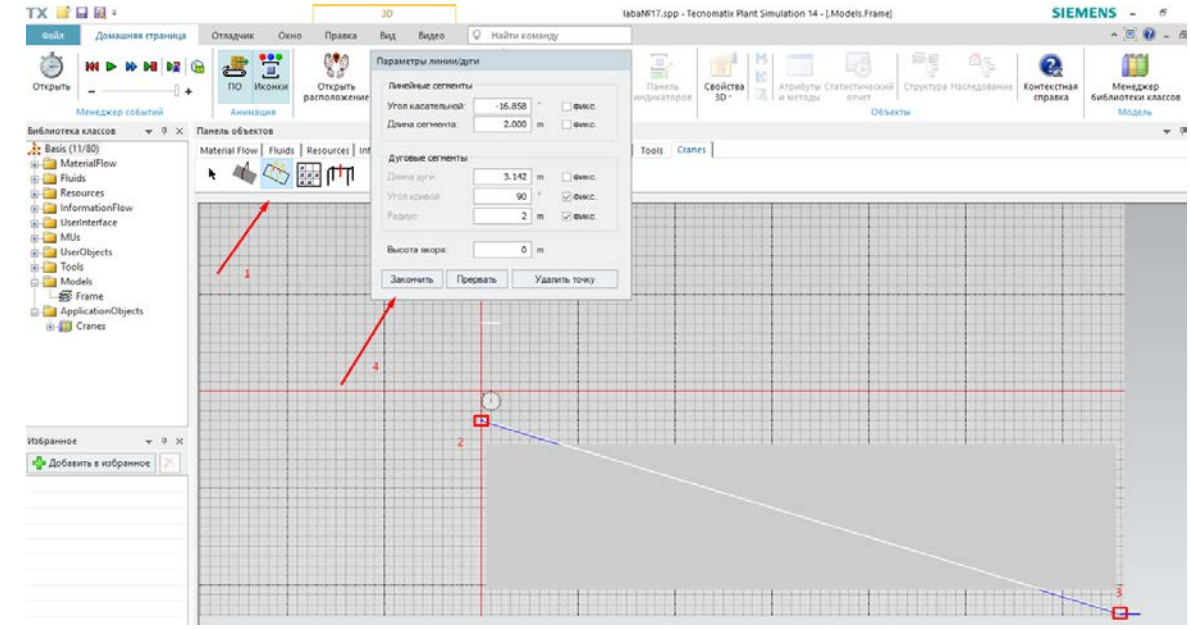


Рис. 4.261 Створення портального крану

Для того, щоб область зберігання була паралельна до направляючої портального крану, оберіть ЛКМ направляючу портального крану та перемістить її на область зберігання.

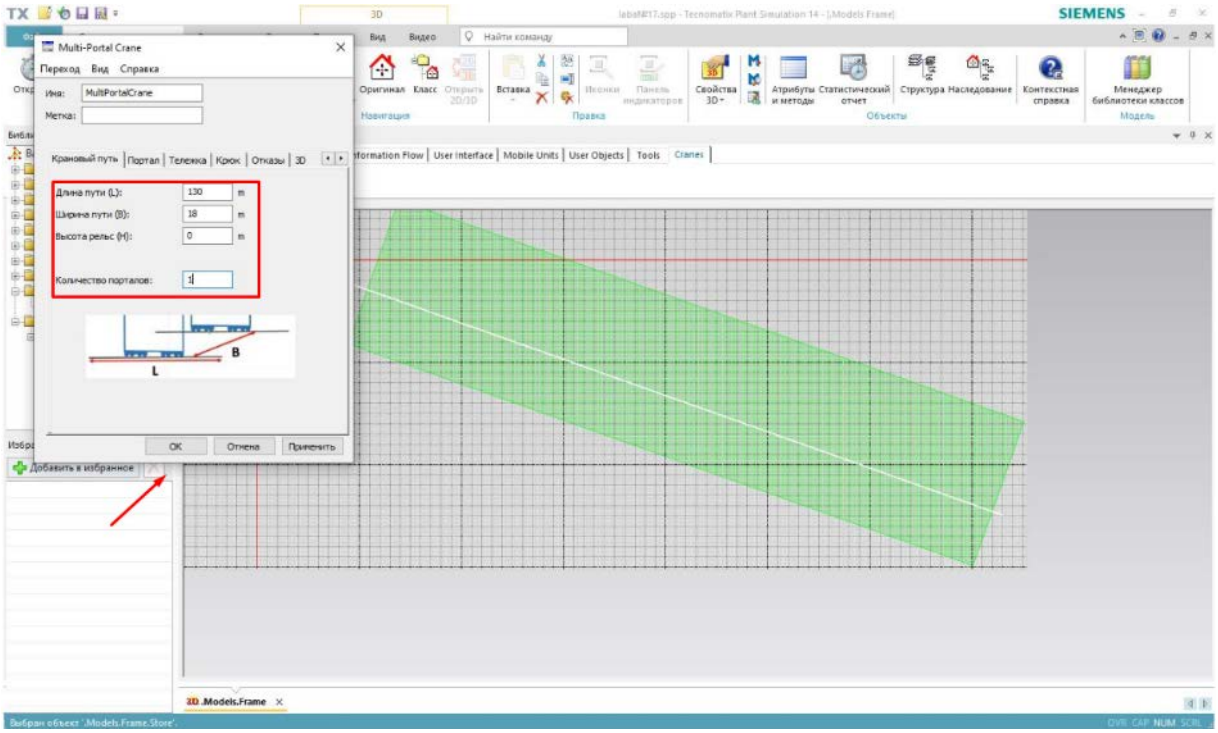


Рис. 4.262 Отриманий результат моделювання

В налаштуваннях портального крану задаємо ширину крана до 18 метрів, кількість порталів до 1. У вікні *Multi-PortalCrane* задаємо довжину порталу до 12 м, ширину – до 18 м, висоту – до 15 м, також в меню направляючих задаємо висоту підйому до 12 м. Натискаємо кнопку ОК, щоб закрити і прийняти задані

параметри (рис.4.263-4.264).

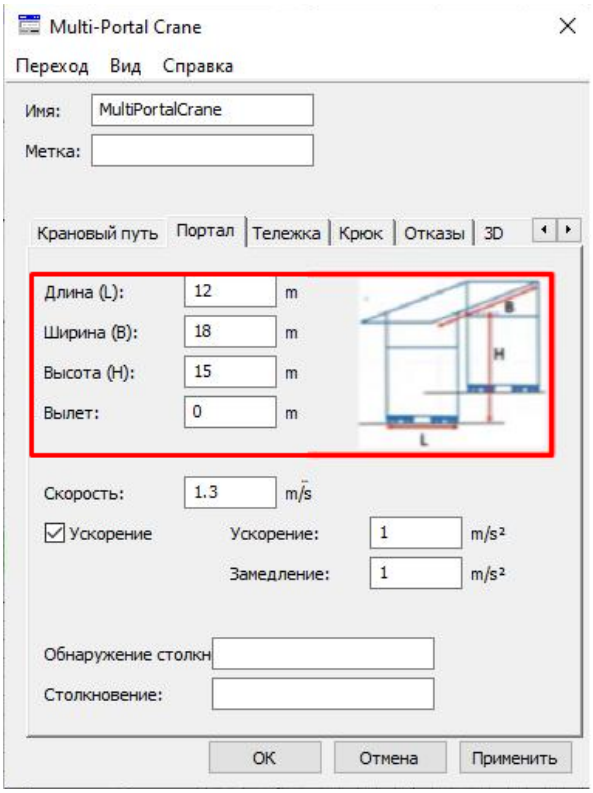


Рис. 4.263 Параметри, які потрібно задати для порталу

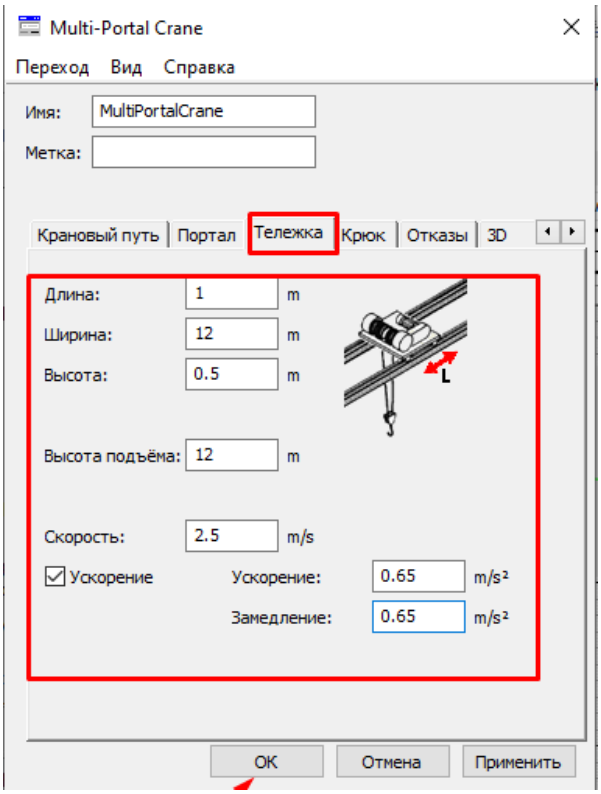


Рис. 4.264 Параметри, які необхідно задати для направляючої порталу

Можливо доведеться відрегулювати положення крану так, щоб область

зберігання була саме під краном (рис. 4.265).

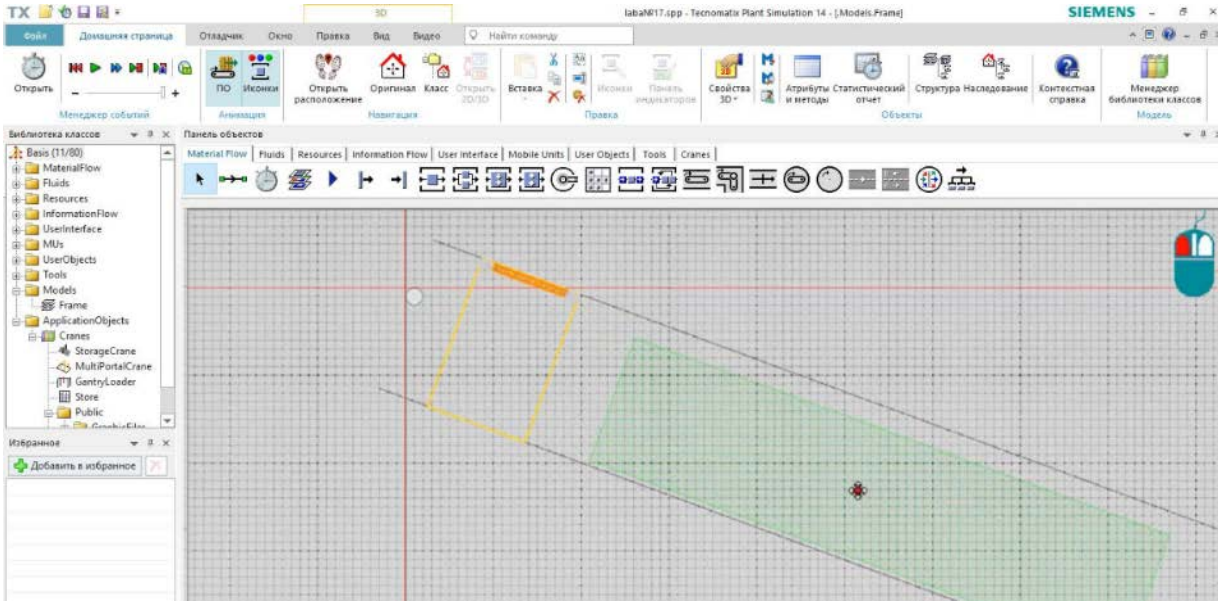


Рис. 4.265 Можливі зміни шляхом переміщення зони зберігання

3. ***Створення робочого шляху переміщення***

Для цього використовуємо об'єкти: *«Source»*, *«Drain»*, *«Connector»*, *«Station»*. Створюємо робочу зону, як рис. 4.266.

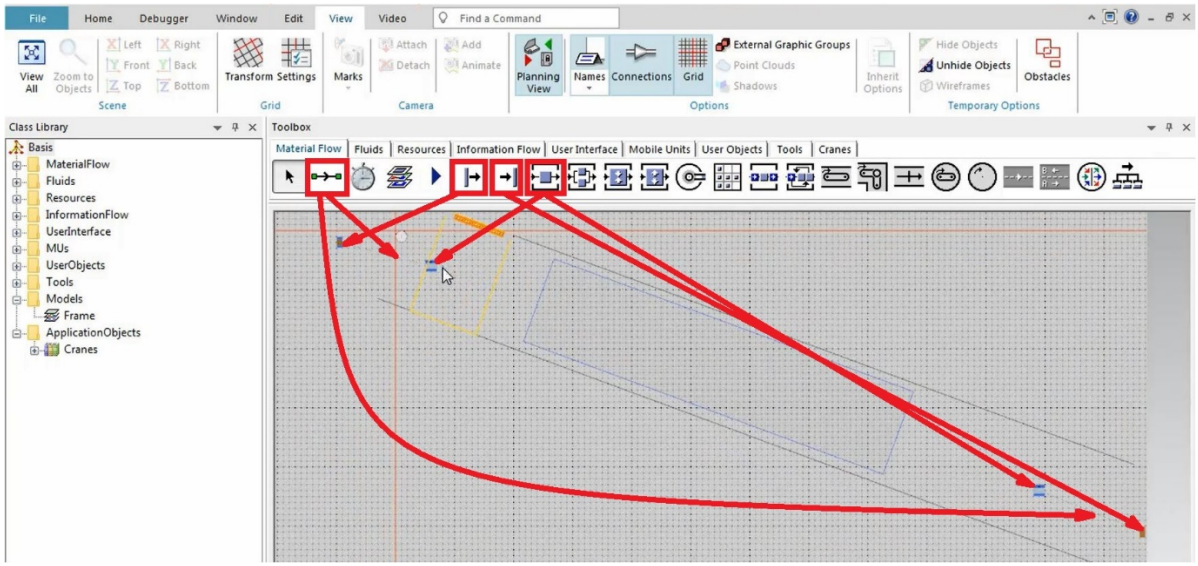


Рис. 4.266 Отримана робоча зона

Для задання вхідної та вихідної станції оберіть створену станцію та перемістить її в зону зберігання, після чого відкриється наступне вікно (рис.4.267).

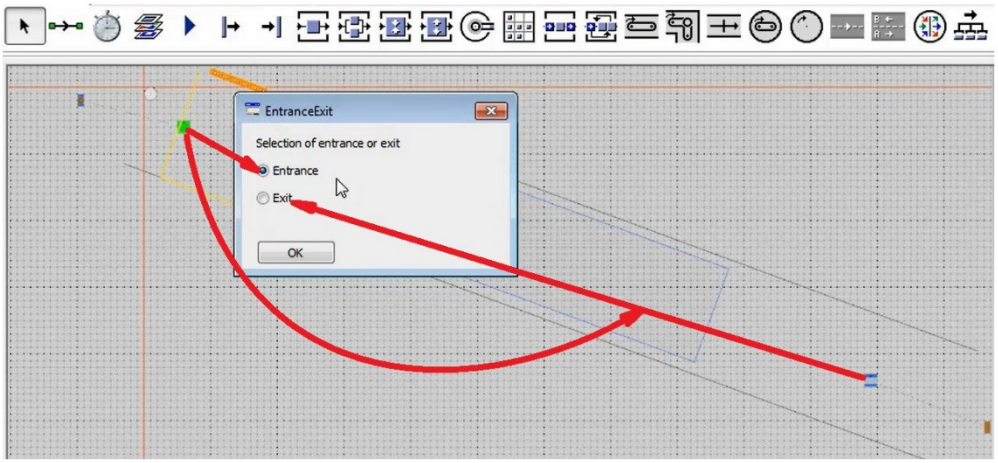


Рис. 4.268 Параметри станції

Для першої станції обираємо «Вхід», для другої «Вихід».

4. ***Додавання нового об'єкту в моделювання***

Далі в боковому меню обираємо папку *MUs*, натискаємо на неї ПКМ та створюємо її дублікат. Далі відкриваємо дублікат в 3D та видаляємо стандартний *MU* об'єкт.

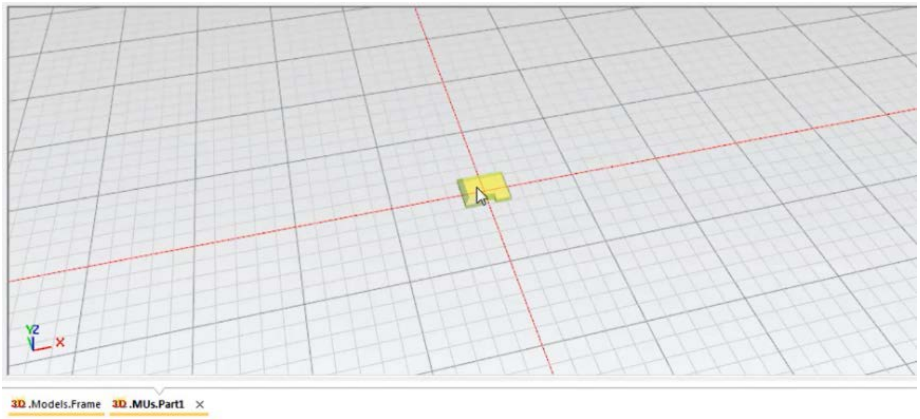


Рис. 4.268 Вигляд в 3D стандартного MU файлу дублікату Part

Далі додаємо свій об'єкт для лабораторної роботи. Для цього відкриваємо вкладку *«Edit»*, там обираємо *«Import Graphics»*, обираємо необхідний файл з розширенням «.jt» (рис. 4.269).

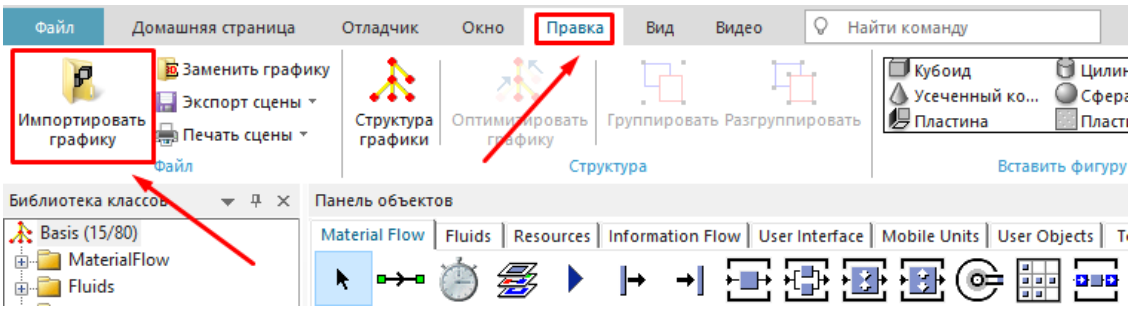


Рис. 4.269 Шлях для зміни стандартного файлу на свій

Після імпорту отриманого обєкту в його властивостях натисніть «*виставити в нуль*». І закрийте вікно *Part1* (рис. 4.270).

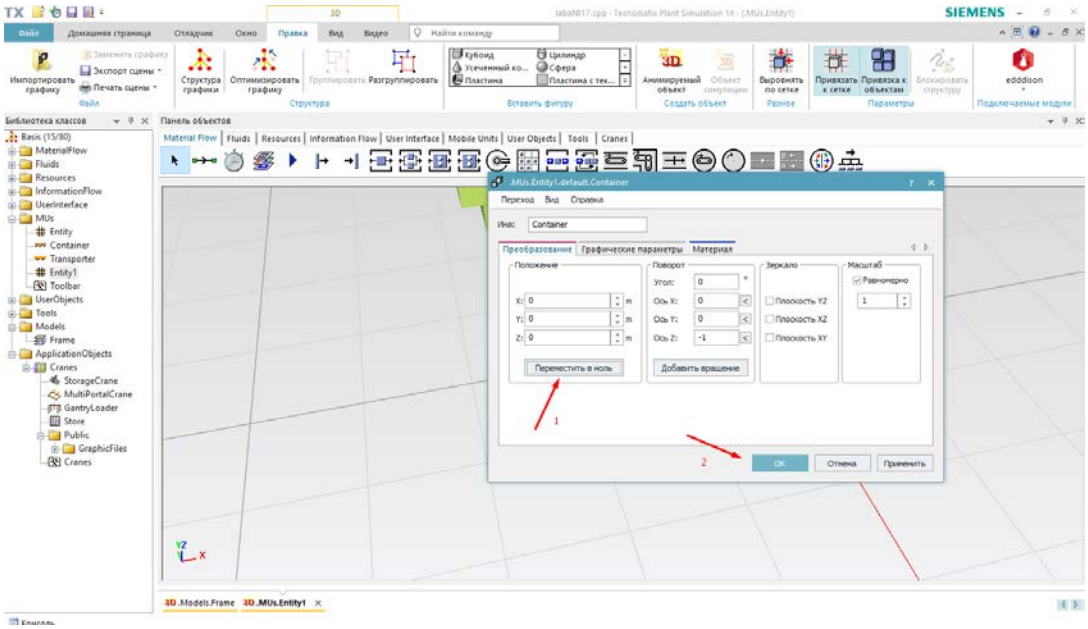


Рис. 4.270 Необхідні параметри для обраної деталі

Далі, щоб параметри *Part1* відповідали завантаженій деталі, оберіть файл *Part1*, відкрийте його властивості та у вкладці «*TOOLS*» виберіть «*Calculate Dimension from 3D*» (рис. 4.271).

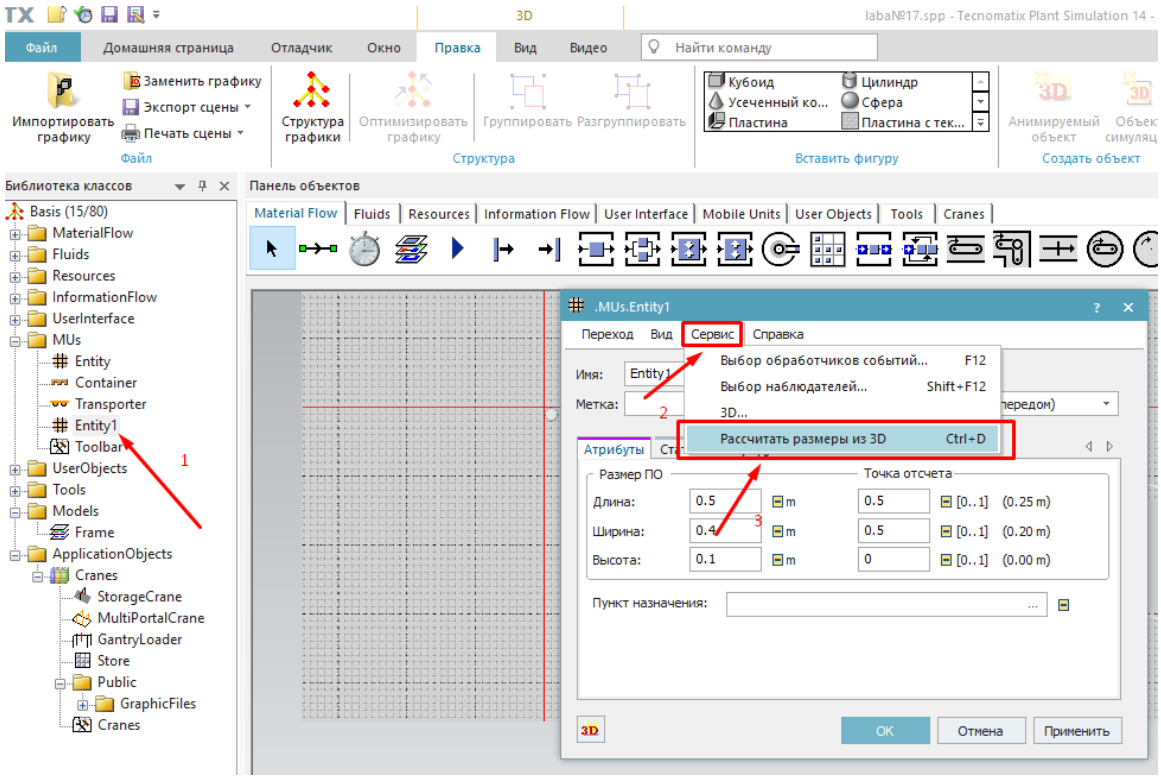


Рис. 4.271 Необхідний шлях для задання коректних властивостей деталі

Для задання деталі для портального крану оберіть файл «*Part1*» та

перемістить його на створений знак *«Source»* (рис. 4.272).

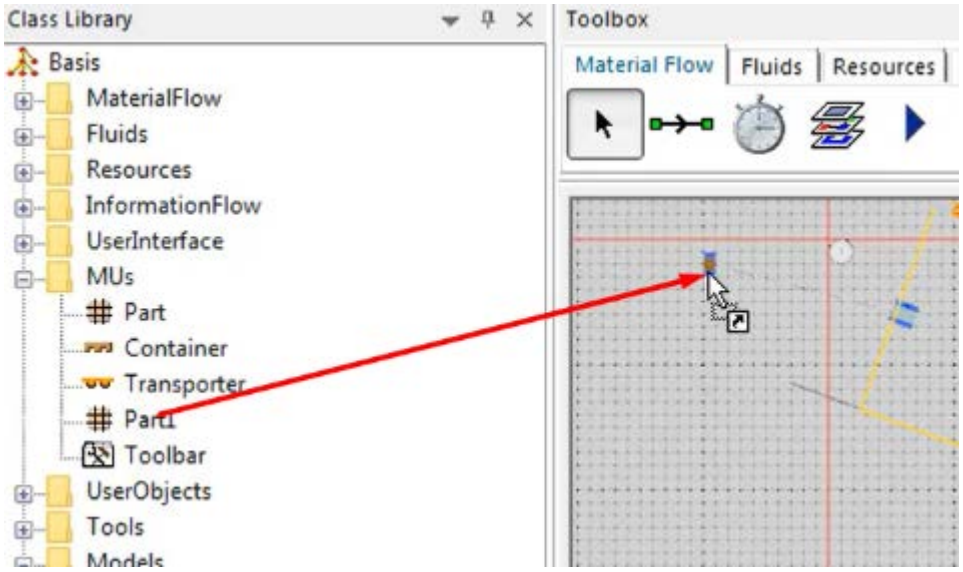


Рис. 4.272 Запис файлу для роботи портального крану

Далі обираємо моделювання, скидаємо годинник *«Reset Simulation»*, виставляємо реальний час (рис. 4.273).

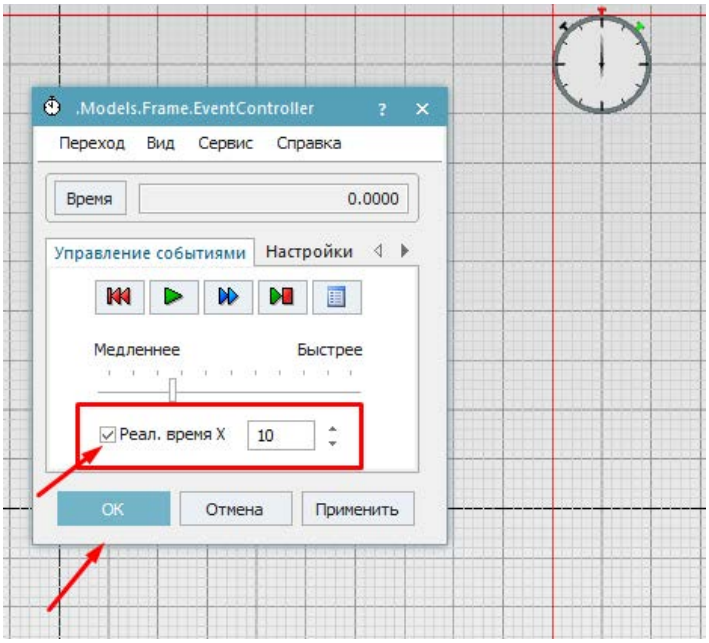


Рис. 4.273 Налаштування моделювання

Перевіряємо результати роботи (рис. 4.274), запустивши симуляцію роботи.

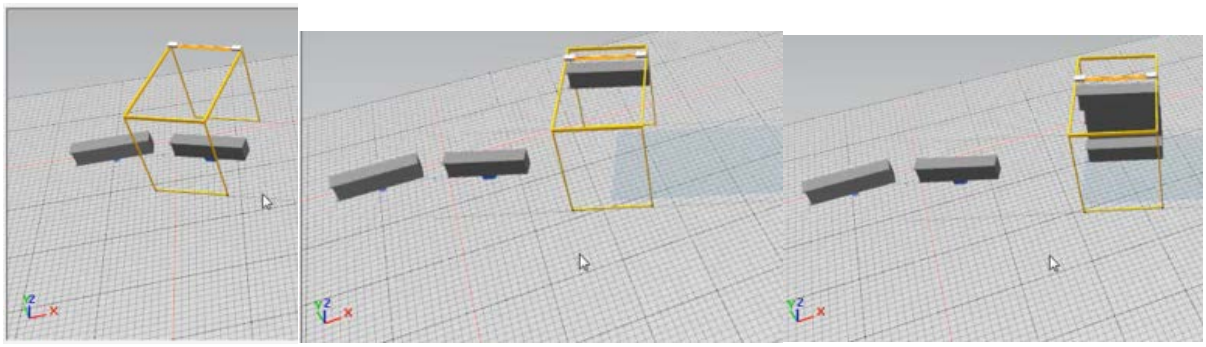


Рис. 4.274 Результати роботи програми

Завдання

1. Навчитись підключати модулі *«Tecnomatix Plant Simulation»*.
2. Ознайомитись з функціоналом портального крану.
3. На практиці закріпити отриманні знання, шляхом моделювання ділянки цеху.

Таблиця 4.13 Вихідні дані

Перша цифра	Параметри порталу, довжина (L)	Друга цифра	Параметри порталу, ширина (B)
0	12	0	20
1	20	1	16
2	15	2	18
3	30	3	23
4	13	4	24
5	17	5	19
6	15	6	10
7	19	7	22
8	17	8	13
9	16	9	20

Примітка: застосовувати інші параметри на власний розсуд.

Зміст протоколу

В протоколі навести фізичну модель виробничої лінії (у вигляді копії екрану). Висновки і пояснення. Додати файл імітаційної моделі виробничої лінії.

4.18 Методи вивчення витрат робочого часу спостереженням

Після запуску програмного додатку необхідно створити нову модель за допомогою команди *“Create New Model”* (рис. 4.275). В наступному діалоговому вікні необхідно обрати тип моделі: двовимірна (2D) або тривимірна (3D). Обираємо 3D модель.

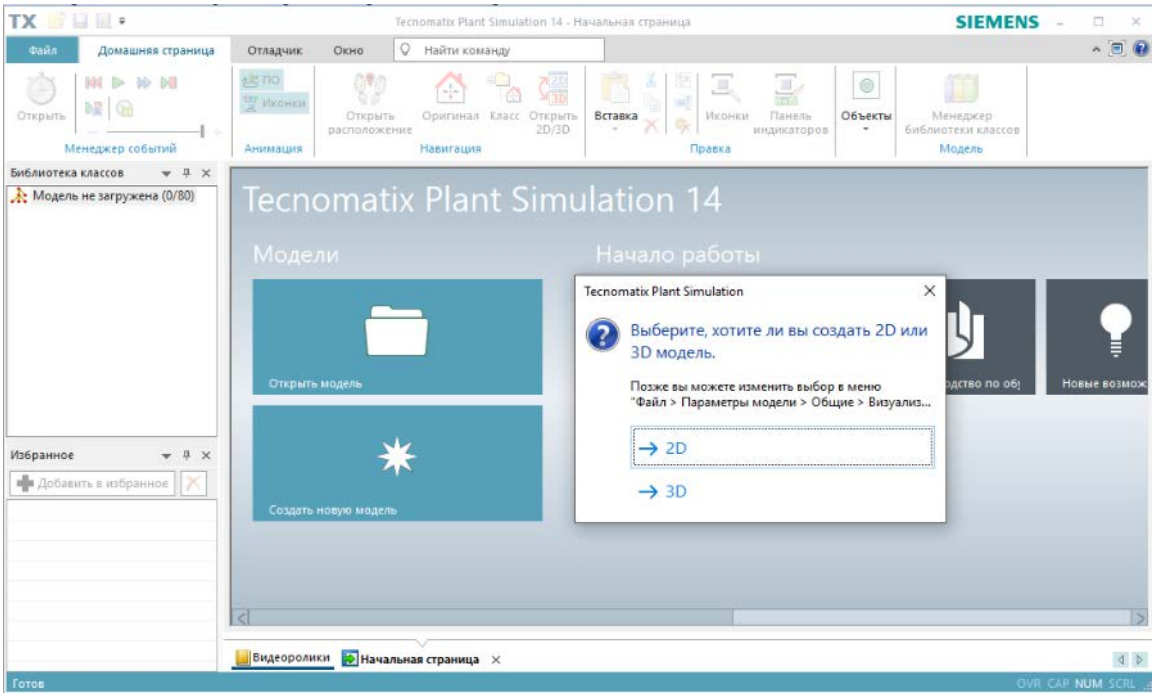


Рис. 4.275 Створення нової моделі

Для початку виконання лабораторної роботи потрібно підключити додаткову бібліотеку *«Crane»*. Для цього натисніть кнопку *«Manage Class Library»* (рис. 4.276), на вкладці, що відкриється, оберіть потрібний пункт, в нашому випадку *«Crane»*.

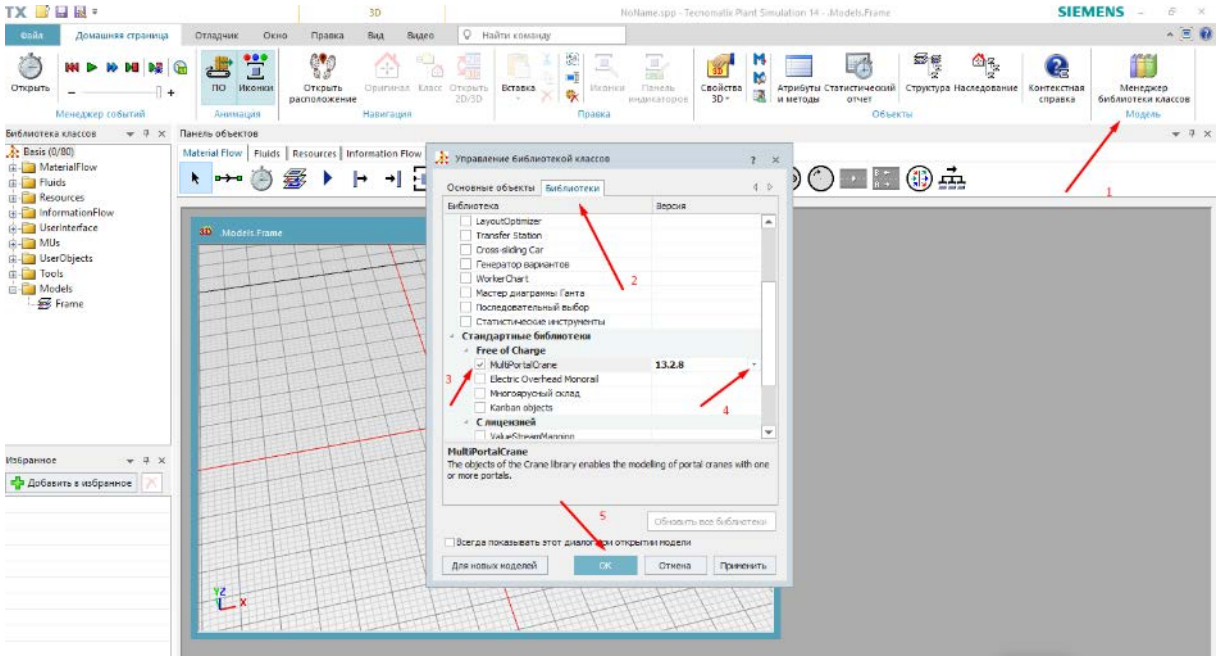


Рис. 4.276 Загальний вигляд менеджеру бібліотек та потрібний пункт

При проектуванні зручно використовувати режим перегляду *“Вид в плані”* (рис.4.277), для цього необхідно обрати вкладку *“Вид”* → *“Вид в плані”*.

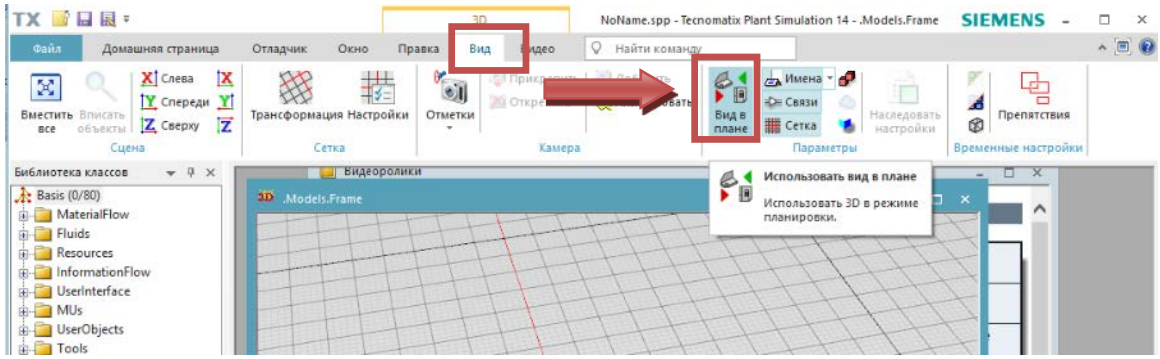


Рис. 4.277 Вибір режиму перегляду

Після чого на робоче поле вставляємо *«Source»*, чотири *«SingleProc»* і *«Drain»* з набору інструментів (рис. 18.4).

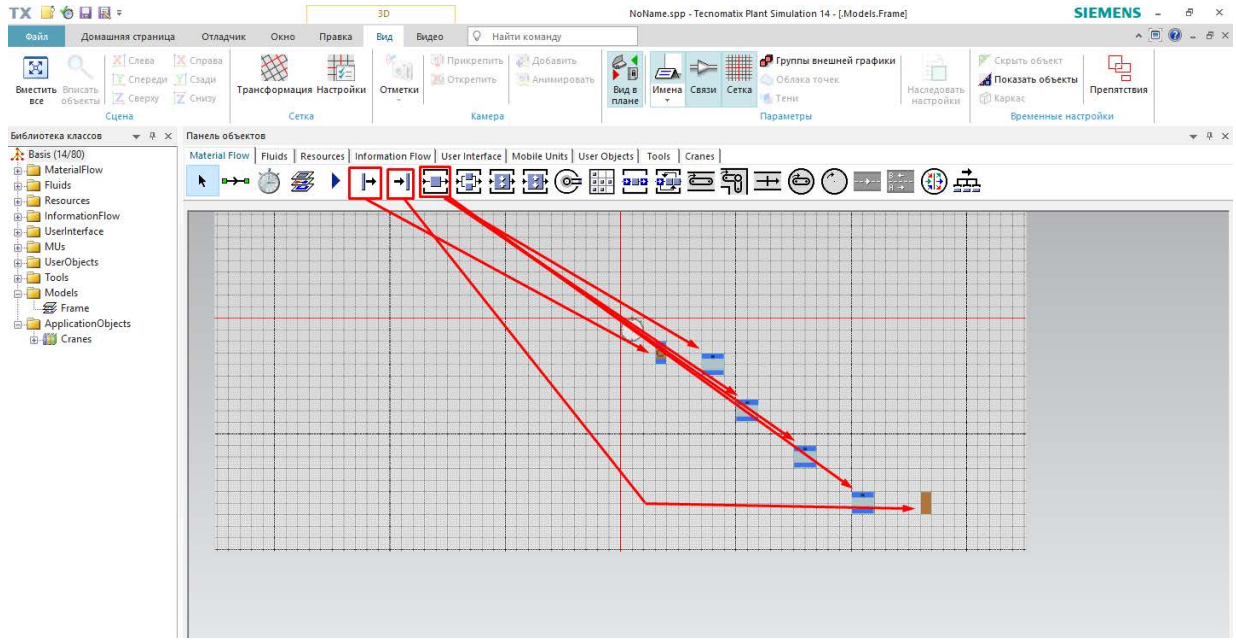


Рис. 4.278 Отримана робоча зона

У вкладці *«Cranes»* ми відкриваємо завантажувач *«Gantry»*. Додаємо *«Gantry»* (рис. 4.279).

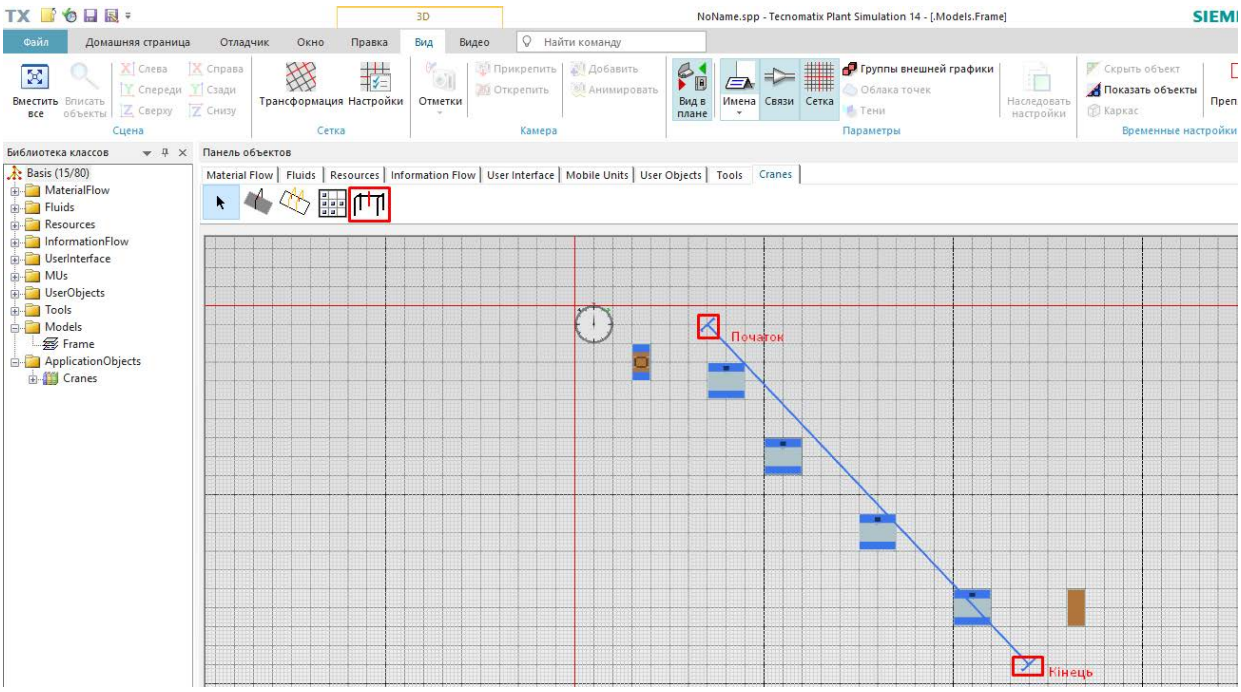


Рис. 4.279 Встановлення завантажувача «Gantry»

Станції краще розташовувати так, щоб вони перебували безпосередньо у напрямку пересування крана.

Переміщаємо всі станції під *«GantryLoader»*. Подвійним натиском викликаємо діалогове вікно і у вкладці *«Gripper»* ставимо галочку на пункті *«Double Gripper»*. Тиснемо ОК (рис. 4.280).

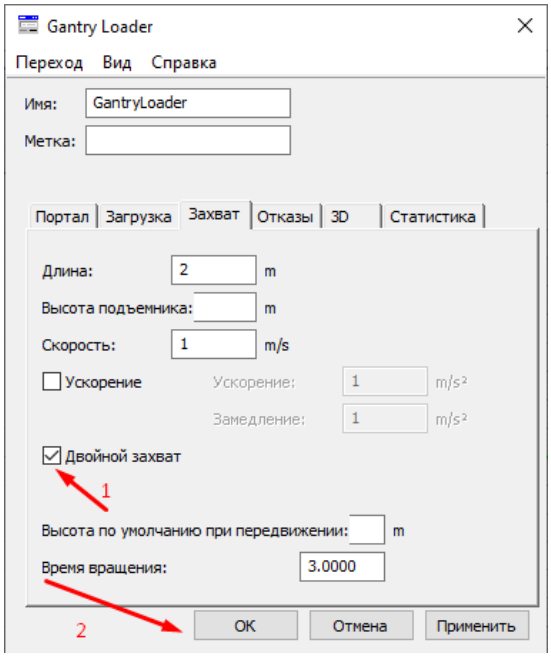


Рис. 4.280 Інтерфейс вкладки «Gripper»

Повторно переходимо в меню *«Planning view»*. Після чого у вкладці *«Information flow»* тиснемо кнопку *«Method»*, ставимо об'єкт поруч зі станціями і при затиснутій клавіші «*TAB*», натиснувши F2, змінюємо назву на *«onExit»*. Переміщуємо об'єкт в першу станцію (рис. 4.281).

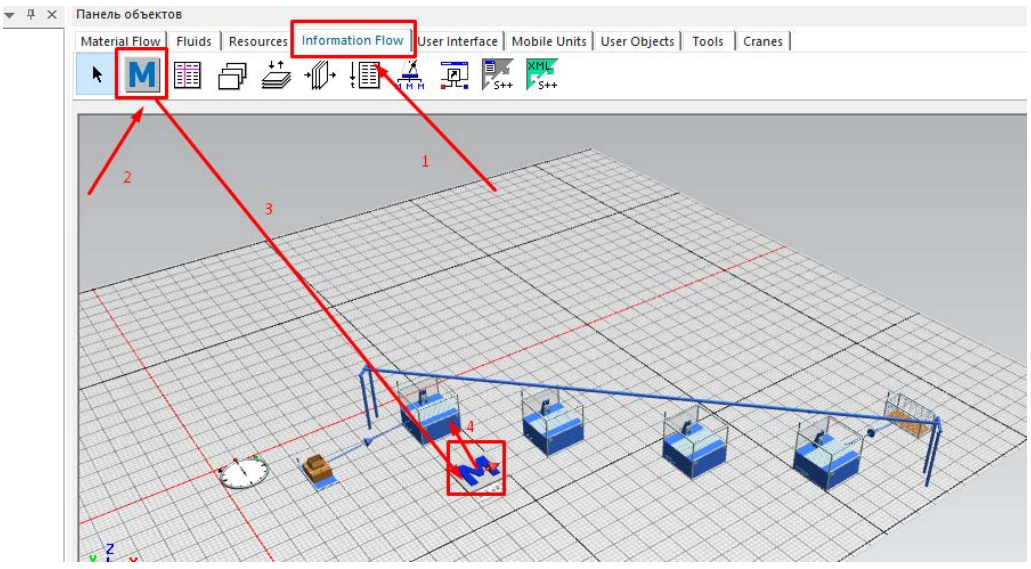


Рис. 4.281 Встановлення «Method»

Після подвійного натискання ми починаємо редагувати файл підпрограми. Код підпрограми зображений нижче.

```
var Gantry : object := GantryLoader
var Loader : object := Gantry.Loader1
var step : integer := 1
```

```
waituntil Loader.state="idle"
Repeat
	switch step
	case 1
		Loader.pickMuFrom(Station)
	case 2
		if not Station1.occupied then
			step := 99
		end

		loader.replaceMuAt(Station1)
	case 3
		if not Station2.occupied then
			step := 99
		end
		Loader.replaceMuAt(Station2)
	case 4
		Loader.replaceMuAt(Station3)
	else
		Loader.endsequence
		exitLoop
	end
	waituntil Loader.state="idle" or Loader.state="waiting"
	step +=1
until false
```

Запускаємо симуляцію знову. Натиснувши на годинник можна регулювати швидкість і змінювати параметри симуляції (рис. 4.282).

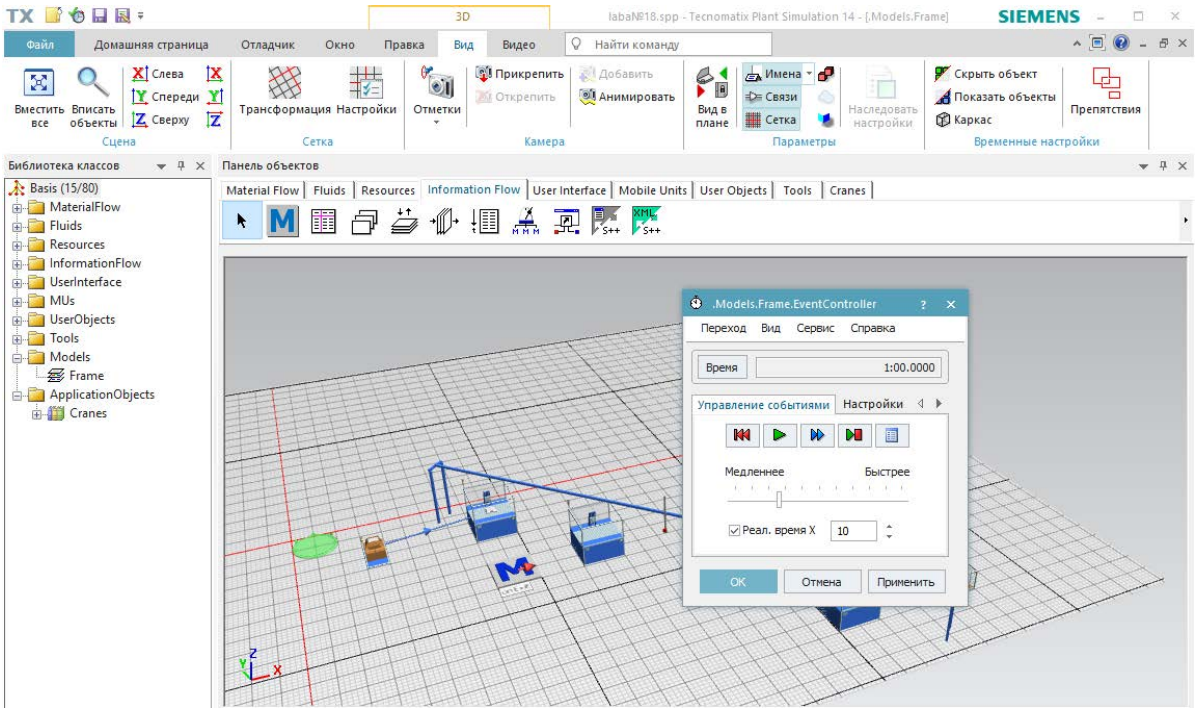


Рис. 4.283 Запуск симуляції

Завдання

1. Вивчити методи нормування робочого часу в машинобудуванні.

2. Засвоїти методику організації та проведення хронометражу і фільмування робочого дня працівника.

3. Організувати і провести в лабораторних умовах хронометраж токарної операції.

4. За експериментальними даними виконати аналіз витрат робочого часу за спостереженнями впродовж робочого дня працівника.

Таблиця 4.14 Вихідні дані

Перша цифра	Кількість верстатів, шт.	Друга цифра	Кількість верстатів, шт.
0	3	0	2
1	4	1	1
2	5	2	3
3	3	3	1
4	4	4	2
5	2	5	1
6	3	6	3
7	4	7	2
8	2	8	1
9	4	9	3

Примітка: Для виконання лабораторної роботи брати суму верстатів першої і другої цифри варіанту.

Зміст протоколу

В протоколі навести фізичну модель виробничої лінії (у вигляді копії екрану). Висновки і пояснення. Додати файл імітаційної моделі виробничої лінії.

Посилання

1. Bangsow S. Manufacturing Simulation with Plant Simulation and SimTalk: Usage and Programming with Examples and Solutions / Steffen Bangsow. – Berlin: Springer – 2010. – 300 p.
2. Mes M.R.K. Simulation Modelling using Practical Examples: A Plant Simulation Tutorial / Martijn R.K. Mes. – Enschede: University of Twente, 2017. – 192 p.
3. Tecnomatix Plant Simulation: Compact Student Training. – Siemens PLM Software, 2017. – 177 p.
4. Абрамова И.Г. Имитационное моделирование организации производственных процессов машиностроительных предприятий в инструменталь-ной среде Tecnomatix Plant Simulation: Лабораторный практикум / И. Г. Абрамова, Н. Д. Проничев, Д. А. Абрамов, Т.Н. Коротенкова. – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2014. – 80с.
5. Рамзаева Е.А., Смелов В.Г., Кокарева В.В. Имитационное моделирование производственных систем предприятия Tecnomatix Plant Simulaton: Метод. указания к лаб. работам / Е.А. Рамзаева, В.Г. Смелов, В.В. Кокарева. – Самара: Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева, 2013. – 51 с.
6. Furmannova.B., Gabajova.G., Vavrík.V. Design of logistic system using Tecnomatix software / Beata Furmannova, Gabika Gabajova, Vladimír Vavrík. – 2019. – Режим доступу: https://doi.org/10.24132/PI.2019.08948.043-049.
7. Siderska J. Application of Tecnomatix Plant Simulation for modeling production and logistics processes / Julia Siderska // Business, Management and Education, 2016. – №14(1). – P. 64–73.
8. Use plant simulation and throughput optimization to improve manufacturing performance. – Режим доступу: https://www.plm.automation.siemens.com/global/ru/products/manufacturing-planning/plant-simulation-throughput-optimization.html
9. Долгов В.А. Имитационное моделирование производственных систем в проектах технического перевооружения. – Режим доступу: http://simulation.su/uploads/files/default/prez-dolgov-getnet.pdf
10. Толуев Ю.И. Моделирование логистических процессов: традиции и инновации. – Режим доступу: http://simulation.su/ uploads/files/default/prez-toluev-mod-log-proc-lection-2.pdf
11. Plant Simulation. – Режим доступу: https://ru.wikipedia.org/wiki/Plant_Simulation
12. Найчук Р.Ю., Воронцов Б.С. Аналіз технологічних можливостей дільниці для механічної обробки деталей і підвищення її ефективності/ Р.Ю.

Найчук, Б.С. Воронцов // Інновації молоді в машинобудуванні: Збірка праць. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – № 2. – С. 485-494.

13. Воронцов Б.С. Імітаційне моделювання механоскладального виробництва / Б.С. Воронцов, І.А. Бочарова // Нові технології в машинобудуванні – Харків: ТОВ «Планета-Прінт», 2021.-С. 38-39.