

Міністерство освіти і науки України
Національний університет водного господарства та
природокористування

Кафедра транспортних технологій і технічного сервісу

02-02-275М

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання практичних робіт з освітньої компоненти
«Спецкурс за спеціальністю: 3D Моделювання складської логістики»
для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня
за освітньо-професійною програмою «Транспортні технології
(на автомобільному транспорті)» спеціальності 275
«Транспортні технології (за видами)»
галузі знань 27 «Транспорт»
денної та заочної форм навчання

Рекомендовано
науково-методичною радою з
якості навчально-наукового
механічного інституту
Протокол № 10 від 19 травня 2026 р.

Рівне – 2026

Методичні вказівки до виконання практичних робіт з освітньої компоненти «Спецкурс за спеціальністю: 3D Моделювання складської логістики» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за освітньо-професійною програмою «Транспортні технології (на автомобільному транспорті)» спеціальності 275 «Транспортні технології (за видами)» галузі знань 27 «Транспорт» денної та заочної форм навчання [Електронне видання] / Сліпенький Є. Б. – Рівне : НУВГП, 2026. – 63 с.

Укладач: Сліпенький Є. Б., старший викладач кафедри транспортних технологій і технічного сервісу.

Відповідальний за випуск: Хітров І. О., завідувач кафедри транспортних технологій і технічного сервісу, канд. техн. наук, доцент.

Керівник групи забезпечення спеціальності: Хітров І. О., доцент кафедри транспортних технологій і технічного сервісу, канд. техн. наук, доцент.

© Є. Б. Сліпенький, 2026

© НУВГП, 2026

ЗМІСТ

Вступ.....	4
Практична робота №1. Створення базової моделі у FlexSim	5
Практична робота №2. Логіка маршрутизації через вихідні порти.....	13
Практична робота №3. Використання дії «Find Slot Activity»	20
Практична робота №4. Створення користувачького фіксованого ресурсу.....	28
Практична робота №5. Створення користувачького виконавця завдань.....	37
Практична робота №6. Показники ефективності та завдання експерименту	43
Практична робота №7. Завдання з оптимізації. Аналіз даних	50
Практична робота №8. Моделювання складу у FlexSim	56
Рекомендована література.....	62

ВСТУП

Виконання практичних завдань з навчальної дисципліни «Спецкурс за спеціальністю: 3D моделювання складської логістики» спрямоване на формування у здобувачів вищої освіти практичних компетентностей із застосуванням сучасних технологій імітаційного моделювання для розв'язання задач управління складськими процесами та інфраструктурою.

Основним програмним інструментом дисципліни є FlexSim — спеціалізоване програмне забезпечення для тривимірного імітаційного моделювання логістичних систем (версія не нижче 21.0). Середовище FlexSim дозволяє створювати детальні 3D-моделі складських комплексів, візуалізувати товарні потоки, моделювати роботу конвеєрних систем, процесів збору та відвантаження замовлень, а також проводити оптимізацію складських операцій за допомогою вбудованого інструменту «Експериментатор».

Практичні поняття охоплюють повний цикл роботи в середовищі FlexSim: від створення базової термінології та навігації в тривимірному просторі до побудови комплексних моделей з ієрархічною структурою, імпортом даних з MS Excel, налаштуванням технологічного потоку (Process Flow) та аналізом результатів моделювання.

Під час виконання практичних завдань застосовуються методи навчання шляхом дискусійного обговорення проблемних ситуацій, індивідуальна та групова робота, а також ситуаційні дослідження з аналізу ефективності складських операцій. Для самостійного поглиблення знань використовуйте офіційну документацію FlexSim, навчальні матеріали на платформі університету Moodle, а також ресурси офіційного YouTube-каналу FlexSim Software.

ПРАКТИЧНА РОБОТА №1 СТВОРЕННЯ БАЗОВОЇ МОДЕЛІ У FLEXSIM

Мета роботи: набуття практичних навичок створення нового проєкту у FlexSim, орієнтування в інтерфейсі програми, побудови базової моделі з об'єктів Source, Queue, Processor та Sink, з'єднання їх у логічний потік, налаштування стохастичних параметрів прибуття та обробки елементів, додавання транспортного ресурсу (Operator), створення інформаційних панелей для моніторингу та параметризації моделі для проведення серії експериментів.

Програмний продукт: *FlexSim (версія не нижче 21.0).*

Короткі відомості

FlexSim — це інструмент для побудови 3D-моделей виробничих та логістичних процесів. Він дозволяє відтворити цифрову копію реальної системи та спостерігати за її поведінкою без ризику зупиняти реальне виробництво.

У цій практичній роботі розглядається побудова базової моделі, яка включає створення нового проєкту, додавання та з'єднання основних об'єктів (Source, Queue, Processor, Sink), налаштування часових характеристик, запуск симуляції, додавання транспортного ресурсу — оператора, створення дашбордів для моніторингу ключових показників та параметризацію моделі для проведення серії експериментів зі зміною кількості робочих станцій.

Крок 1. Створення нового проєкту у FlexSim

У цьому кроці виконується відкриття FlexSim, створення нової моделі та ознайомлення з основними елементами інтерфейсу програми. Це фундамент, без якого подальша робота буде складною.

1. Запуск FlexSim: відкрийте програму FlexSim на комп'ютері, щоб перейти до середовища моделювання, де будуватиметься цифрова копія реальної системи.



2. Створення нової моделі: на стартовій сторінці натисніть New Model, щоб створити чистий робочий простір для побудови моделі. Після натискання з'явиться вікно з вибором одиниць вимірювання — для цієї роботи достатньо залишити стандартні значення (метри, секунди).

Рис. 1.1. Одиниці вимірювання

3. Ознайомлення з інтерфейсом. Після створення моделі студент бачить три ключові області:

— Model View (центральна частина) — 3D-простір, де розміщуються всі об'єкти моделі; тут фактично будується система, як на макеті.

— 3D Object Library (ліва панель) — бібліотека готових об'єктів: Source, Queue, Processor, Sink, Operator тощо. Це «будівельні блоки» моделі: кожен об'єкт створює, зберігає, обробляє або переміщує елементи.

— Properties (права панель) — панель властивостей обраного об'єкта, де налаштовується поведінка об'єктів: час обробки, інтервал прибуття, логіка руху.

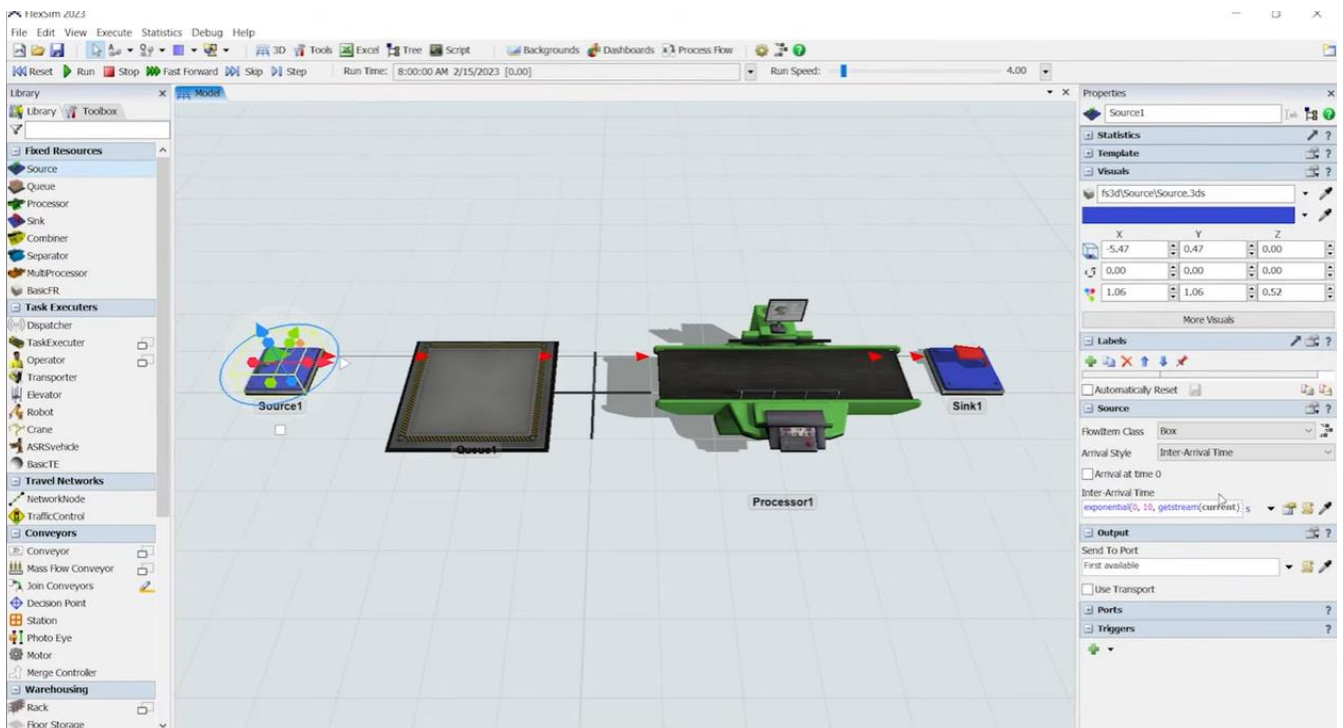


Рис. 1.2. Інтерфейс FlexSim

4. Навчання керувати камерою (важливо, оскільки робота відбувається у 3D-середовищі):
 - Ліва кнопка миші + рух — панорамування (зсув сцени).
 - Права кнопка миші + рух — обертання камери.
 - Колесо миші — масштабування.
 - ПКМ → View → Reset View — повернення камери у стандартне положення.
5. Додавання першого об'єкта — Source: перетягніть об'єкт Source із бібліотеки у Model View. Source — це «вхід» системи: він створює flow items — елементи, які рухаються через модель (наприклад, коробки, деталі, клієнти). Це перший об'єкт, який дозволяє почати будувати логіку потоку.
6. Додавання об'єкта Queue: двічі клацніть у порожньому місці, щоб відкрити Quick Library, та виберіть Queue. Queue — це місце, де елементи можуть чекати, якщо наступний об'єкт зайнятий. Черги — важлива частина будь-якої системи: вони показують, де виникають затримки.
7. Додавання Processor і Sink: перетягніть з бібліотеки:
 - Processor — обробляє елементи (наприклад, тестує продукт).
 - Sink — «вихід» системи, куди елементи зникають після завершення процесу.

Ці об'єкти дозволяють створити повний цикл: створення → очікування → обробка → завершення.

Крок 2. З'єднання об'єктів

На цьому кроці виконується з'єднання об'єктів у логічний потік Source → Queue → Processor → Sink, щоб встановити маршрут переміщення елементів через модель — без з'єднань система не знає, куди рухати предмети.

У FlexSim об'єкти з'єднуються портами. Є кілька способів: клавіша A (режим Connect) або перетягування білої стрілки з одного об'єкта на інший. Після з'єднання система створює логіку переміщення flow items від джерела до виходу.

1. Натисніть A або виберіть інструмент Connect на панелі.
2. Клацніть Source, потім Queue, потім Processor, потім Sink.
3. Перевірте, що між об'єктами з'явилися стрілки/портові з'єднання.

Якщо стрілка не з'єднується, трохи наблизьте камеру або оберіть інший порт на об'єкті.

Крок 3. Налаштування параметрів об'єктів

На цьому кроці налаштовується Inter-Arrival Time у Source та Process Time у Processor, щоб задати стохастичну поведінку системи: як часто приходять елементи і скільки часу займає їх обробка.

FlexSim дозволяє задавати розподіли й параметри для часових характеристик. Це імітує реальну невизначеність у виробничих процесах.

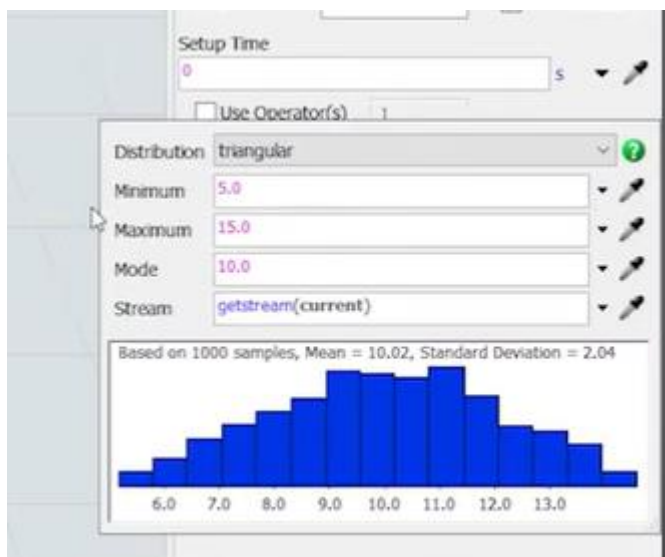
1. Налаштування Source:



клацніть Source → Properties → Inter-Arrival Time → Edit. Виберіть Exponential і встановіть scale = 15 (середній інтервал 15 секунд). Збережіть зміни.

Рис. 1.3. Налаштування Source

2. Налаштування Processor (TestingStation): клацніть Processor → Properties → Process Time → Edit. Виберіть Triangular і введіть Min = 8, Mode = 15, Max = 30. Переіменуйте Processor у TestingStation (правий клік → Rename).



Пояснення параметрів: Exponential(scale) підходить для випадкових прибуттів, де події незалежні; Triangular(min, mode, max) — простий спосіб задати асиметричний розподіл, коли є найімовірніше значення.

Рис. 1.4. Налаштування Processor

Крок 4. Запуск симуляції і базова перевірка

На цьому кроці запускається модель (Reset → Run → Skip), щоб перевірити, чи модель працює логічно: чи створюються елементи, чи проходять через чергу і обробку, чи доходять до Sink.

Перший запуск — це тест на коректність з'єднань і базових налаштувань. Кнопка Skip дозволяє швидко переходити між подіями, щоб побачити динаміку без повільного відтворення.

1. Натисніть Reset (очищення стану моделі).
2. Натисніть Run.
3. Якщо потрібно прискорити перегляд, натисніть Skip або збільште швидкість симуляції.
4. Спостерігайте: чи накопичується черга, чи Processor обробляє елементи.

Що перевірити: чи створюються flow items у Source; чи переходять вони у Queue; чи Processor отримує елементи і відправляє у Sink.

Якщо елементи «телепортуються» між об'єктами (без видимого транспорту) — це нормально для моделей без транспортних ресурсів.

Крок 5. Додавання оператора і транспортної логіки

На цьому кроці додається об'єкт Operator (Task Executor), створюється Center Port та активується Use Transport у Queue, щоб моделювати фізичне переміщення предметів оператором, а не миттєве телепортування — це додає реалістичності і дозволяє аналізувати завантаження ресурсів.

Task Executor — це мобільний ресурс, який виконує завдання переміщення. Center Port дозволяє Queue «викликати» оператора для транспортування елементів.

1. Перетягніть Operator з бібліотеки у сцену.
2. Клацніть Operator → перетягніть білий квадрат (Center Port) до Queue або натисніть S для режиму Center Port і з'єднайте.
3. Клацніть Queue → Properties → Output → увімкніть Use Transport.
4. Натисніть Reset → Run і спостерігайте: оператор підходить до Queue, бере предмет і переносить до TestingStation.

Логіка роботи: Queue з увімкненим Use Transport викликає доступний Task Executor. Operator має власні параметри руху і часу виконання завдання — їх можна налаштувати для реалістичності.

Якщо оператор не реагує, перевірте, чи Center Port правильно з'єднаний і чи Operator не зайнятий іншим завданням.

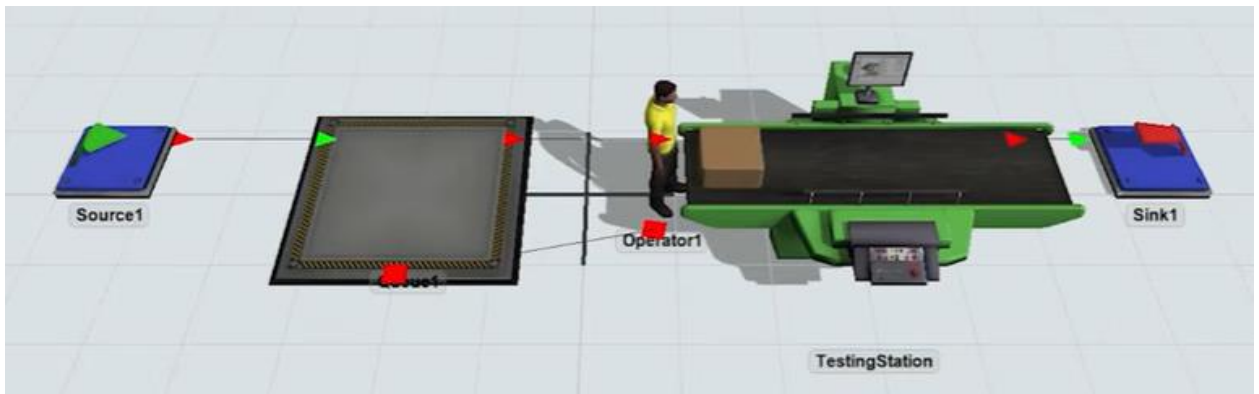


Рис. 1.5. Робота оператора

Крок 6. Додавання дашбордів і графіків

На цьому кроці створюється Dashboard з активностями State Chart для TestingStation, State Chart для Operator та Average Content Chart для Queue. Графіки і дашборди дають візуальне уявлення про продуктивність системи в реальному часі: завантаження ресурсів, довжину черги, стан операторів.

Dashboards у FlexSim дозволяють швидко відстежувати ключові показники. State Chart показує стани об'єкта (idle, busy), Average Content — середню кількість елементів у черзі.

1. Toolbar → Dashboards → Add Blank Dashboard.
2. У Dashboard перетягніть State Chart → у властивостях Sampler виберіть TestingStation → вкажіть параметр utilization або state.
3. Додайте другий State Chart → Sampler → Operator.
4. Додайте Average Content Chart → Sampler → Queue.
5. Запустіть модель і спостерігайте, як графіки змінюються в реальному часі.

Інтерпретація: якщо TestingStation utilization близька до 100% — станція завантажена; якщо Average Queue Content зростає — система має вузьке місце.

Налаштуйте інтервали оновлення графіків і масштаб осей для зручності аналізу.

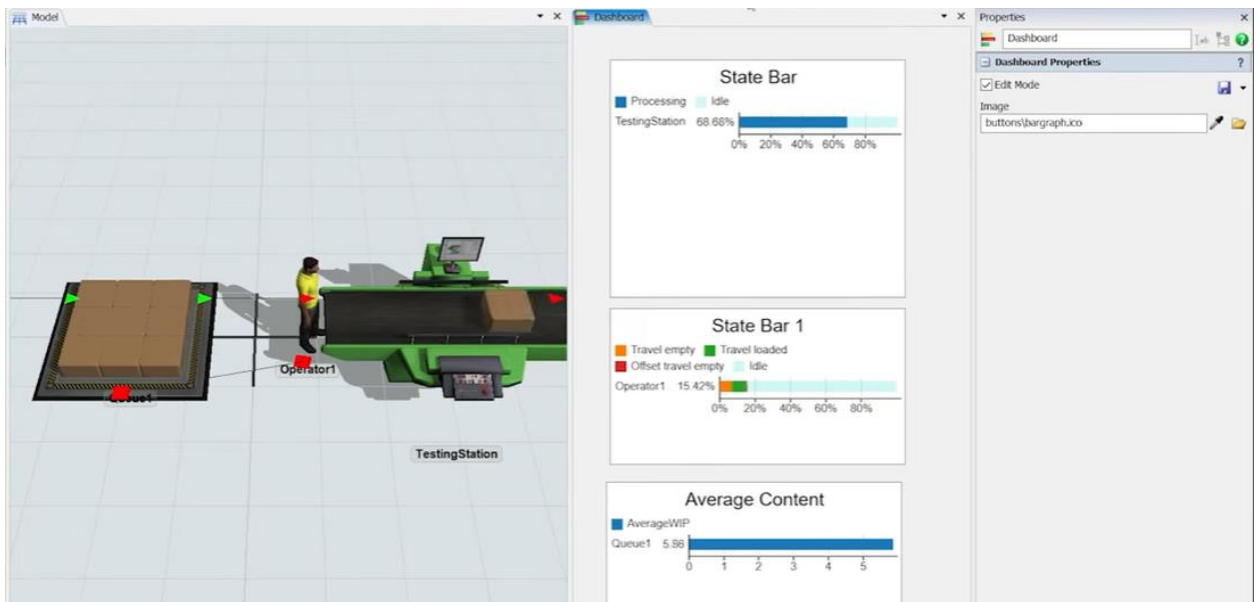


Рис. 1.6. Dashboards у FlexSim

Крок 7. Параметризація моделі і підготовка до експерименту

На цьому кроці створюється параметр TestingStations (ціле число 1–5), налаштовується копіювання TestingStation залежно від параметра, встановлюється X Offset, та перевіряється робота моделі при різних значеннях параметра.

Параметризація дозволяє швидко змінювати конфігурацію моделі (наприклад, кількість станцій) і запускати серію сценаріїв для порівняння. Параметри роблять модель гнучкою: замість ручного додавання/видалення об'єктів можна змінювати значення параметра і автоматично створювати потрібну кількість копій.

1. Toolbox → Parameters → Add Parameter → назвіть TestingStations.
2. Встановіть Type = Integer, Lower Bound = 1, Upper Bound = 5.
3. Виділіть TestingStation у сцені → правий клік → Copy Out Objects, або скористайтесь Sampler у Parameters, щоб зв'язати кількість копій з параметром TestingStations.
4. У властивостях копіювання встановіть X Offset = 0 (щоб станції не розміщувалися по осі X, якщо відстань не важлива).
5. Змінійте значення TestingStations на 1, 2, 3, 4, 5 по черзі, натискаючи Reset і Run, щоб перевірити поведінку системи.

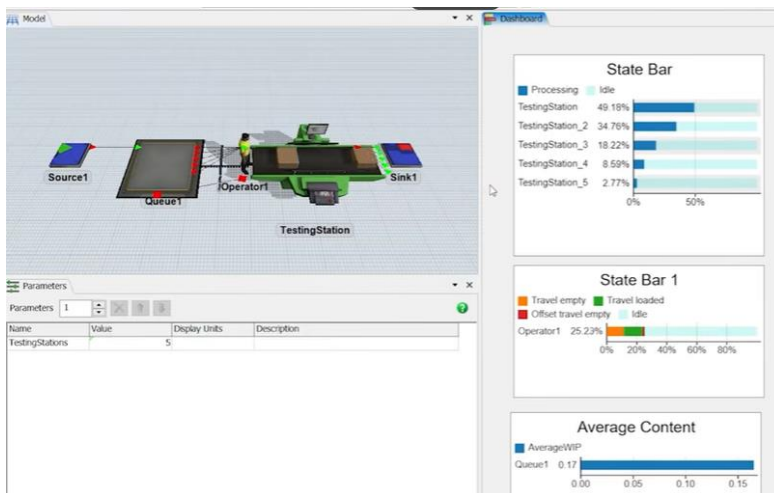


Рис. 1.7. Створення параметру TestingStations

Зверніть увагу на компроміс між довжиною черги і завантаженням ресурсів — це ключ до оптимізації.

Загальні вказівки до виконання практичної роботи

1. Ознайомитися з інтерфейсом FlexSim: Model View, 3D Object Library, Properties, керування камерою.
2. Створити новий проєкт та побудувати базову модель: розмістити та з'єднати об'єкти Source → Queue → Processor → Sink.
3. Налаштувати стохастичні параметри: Inter-Arrival Time (Exponential, scale = 15) у Source та Process Time (Triangular, 8/15/30) у Processor, перейменованому на TestingStation.
4. Запустити модель (Reset → Run → Skip) та перевірити коректність руху елементів через систему.
5. Додати Operator з Center Port та увімкнути Use Transport у Queue для моделювання реалістичного транспортування предметів.
6. Створити Dashboard з графіками State Chart (TestingStation, Operator) та Average Content Chart (Queue) для моніторингу ключових показників.
7. Параметризувати кількість станцій TestingStations (1–5) та провести серію запусків для аналізу компромісу між довжиною черги і завантаженням ресурсів; оформити та захистити звіт.

Контрольні запитання

1. Яке призначення основних областей інтерфейсу FlexSim: Model View, 3D Object Library та Properties?
2. Яку роль відіграють об'єкти Source, Queue, Processor та Sink у моделі та який повний цикл руху елемента вони утворюють?

3. Чим відрізняються розподіли Exponential та Triangular і чому саме вони використовуються для Inter-Arrival Time та Process Time відповідно?
4. Що означає Use Transport у властивостях Queue та яку роль відіграє Center Port при підключенні Operator?
5. Які показники відображають State Chart та Average Content Chart на Dashboard і як їх інтерпретувати для виявлення вузького місця системи?
6. Яке призначення параметра TestingStations та як зміна його значення впливає на довжину черги і завантаження ресурсів?
7. Поясніть компроміс між довжиною черги та коефіцієнтом завантаження ресурсів (utilization) при збільшенні кількості станцій обробки.

ПРАКТИЧНА РОБОТА №2

ЛОГІКА МАРШРУТИЗАЦІЇ ЧЕРЕЗ ВИХІДНІ ПОРТИ

Мета роботи: набуття практичних навичок керування логікою маршрутизації flow items через кілька вихідних портів у FlexSim (first available, random, random available, by percentage, round robin, round robin if available, port by case, by expression, conditional port, shortest/longest queue), створення міток (labels) на елементах для маршрутизації за їх атрибутами, а також моделювання поведінки операторів з опцією Use Transport.

Програмний продукт: *FlexSim (версія не нижче 21.0).*

Короткі відомості

Коли об'єкт у FlexSim має кілька вихідних з'єднань, виникає потреба визначити правило вибору порту, через який рухатиметься кожен flow item. За замовчуванням FlexSim використовує режим first available, проте доступні й інші режими: random, random available, by percentage, round robin, round robin if available, port by case, by expression, conditional port, shortest/longest queue.

У цій практичній роботі також розглядається створення міток (labels) на flow items та їх використання для маршрутизації за типом продукції чи числовими параметрами, а також застосування опції Use Transport для моделювання фізичного переміщення елементів оператором.

Крок 1. Створення базової моделі

На цьому кроці будується проста лінія обробки, на якій демонструватиметься логіка вибору вихідного порту. Source генерує flow items; Queue — буфер; Processor — обробка; Sink — завершення. Без з'єднань модель не має маршруту для елементів.

1. Відкрийте FlexSim → New Model.
2. Додайте об'єкти: Source, Queue, Processor, Sink.
3. З'єднайте їх у лінію: Source → Queue → Processor → Sink (режим Connect або клавіша A).

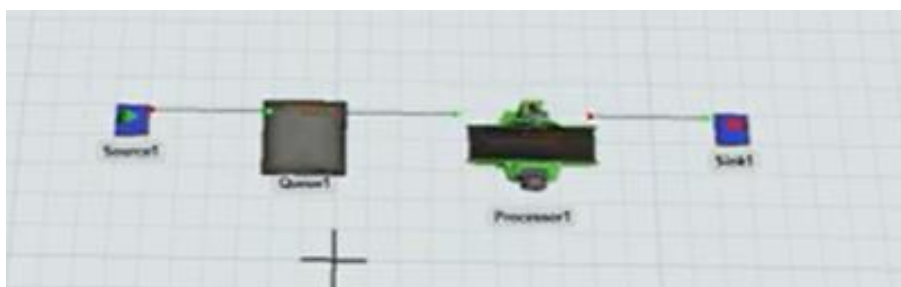


Рис. 2.1 Базова модель

Крок 2. Копіювання ліній і підготовка кількох портів

На цьому кроці досліджується, як FlexSim розподіляє потік між кількома лініями. Коли Source має кілька виходів, потрібно визначити правило вибору порту — це ключова частина маршрутизації. За замовчуванням використовується *first available*.

1. Скопіюйте лінію (Ctrl+C / Ctrl+V) або виділіть кілька об'єктів і дублюйте їх.
2. Підключіть другий Queue/Processor як додатковий вихід від Source (тобто Source матиме 2+ outgoing connections).

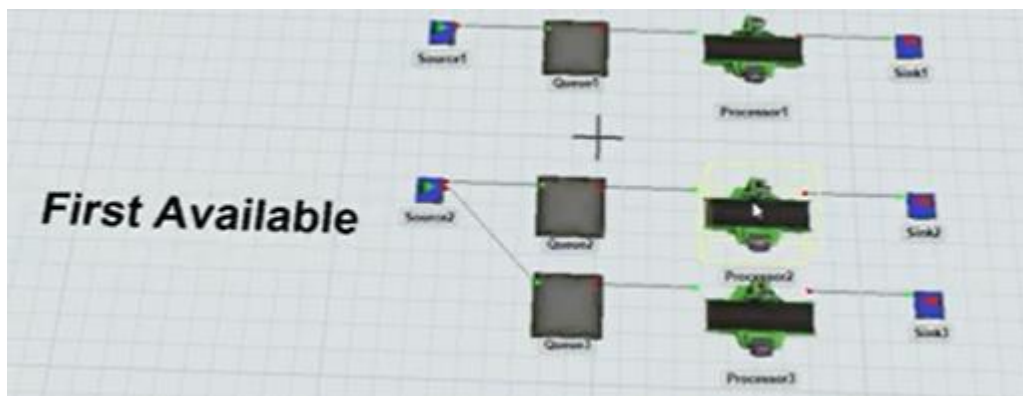


Рис. 2.2. Розподіл потоку лініями

Крок 3. Режими вибору порту і їх перевірка

Для кожного режиму виконайте тест: Reset → Run і спостерігайте розподіл flow items.

3.1. *First available*

У властивостях Source → Output → Send to Port залишіть *First available*. Це логіка за замовчуванням: вибирається перший доступний порт у порядку зверху вниз. Якщо перший порт доступний — елемент піде туди; якщо ні (буфер повний) — система перевірить наступний. Використовується, коли один ресурс має пріоритет.

3.2. *Random i Random available*

Встановіть *Random*; потім спробуйте *Random available*. *Random* дає рівномірний розподіл незалежно від доступності; *Random available* обирає випадковий порт лише серед доступних. *Random* може блокувати Source, якщо обраний порт зайнятий; *Random available* уникатиме блокування, бо не включає зайняті порти у вибір.

3.3. *By percentage*

Встановіть *By percentage* і задайте відсотки (наприклад, 90% → порт 1, 10% → порт 2), щоб навмисно направляти більшу частину потоку на один шлях. Корисно для моделювання розподілу продукції або відсотка браку.

3.4. *Round robin i Round robin if available*

Встановіть *Round robin*; потім *Round robin if available*. *Round robin* рівномірно чергує порти; версія *if available* пропускає зайняті порти. *Round robin* гарантує послідовне чергування (1, 2, 1, 2...), але може блокувати *Source*, якщо наступний порт зайнятий; *if available* більш гнучкий.

3.5. *Shortest queue i Longest queue*

Встановіть *Shortest queue* або *Longest queue*, щоб балансувати навантаження між лініями або навпаки — концентрувати потік. *Shortest queue* прагне вирівняти завантаження з урахуванням поточної довжини черг; корисно при варіабельних часах обробки.

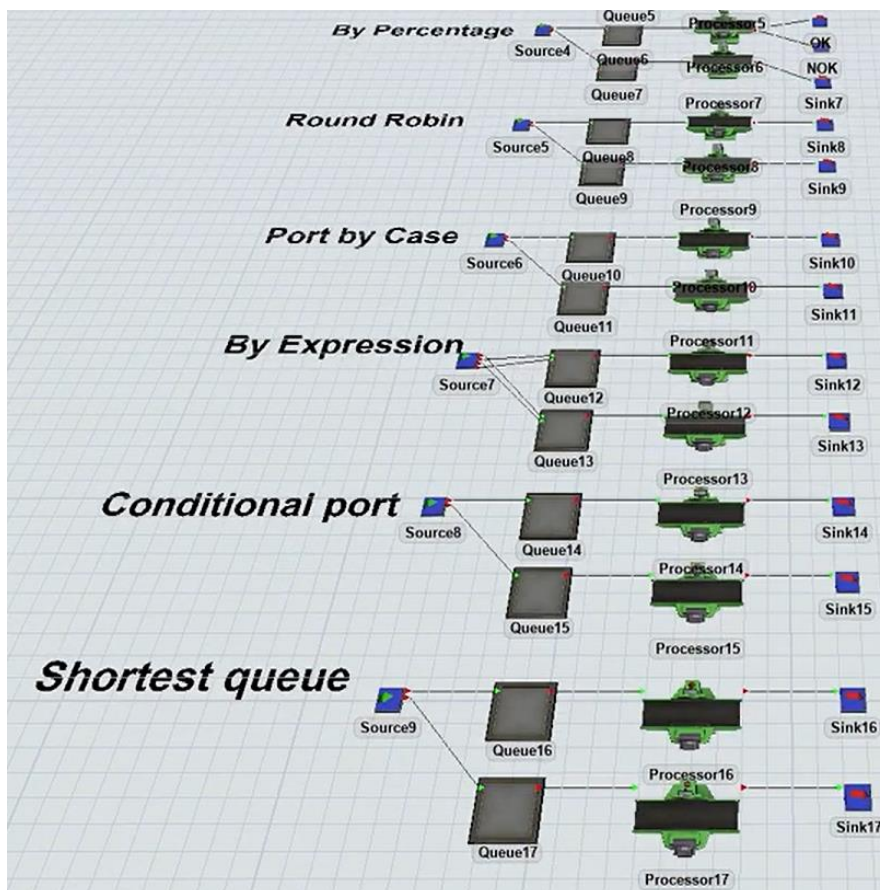


Рис. 2.3. Загальний вигляд моделей

Крок 4. Маркування flow items і маршрутизація за мітками

Labels зберігають атрибути елемента (тип, вага, замовлення). *Port by Case* дозволяє явно вказати, куди йде кожен тип; *By expression* дає гнучкіше

правило (наприклад, `item.ProductType`). Якщо використовувати `expression`, можна уникнути створення великої кількості case-правил.

1. У Source → Triggers → On Creation → Data → Set Label and Color.
2. Створіть label `ProductType` з дискретним значенням (наприклад, `duniform(1,2)`).
3. У Send to Port виберіть Port by Case або By expression і налаштуйте правила на основі `item.label` або `item.ProductType`.

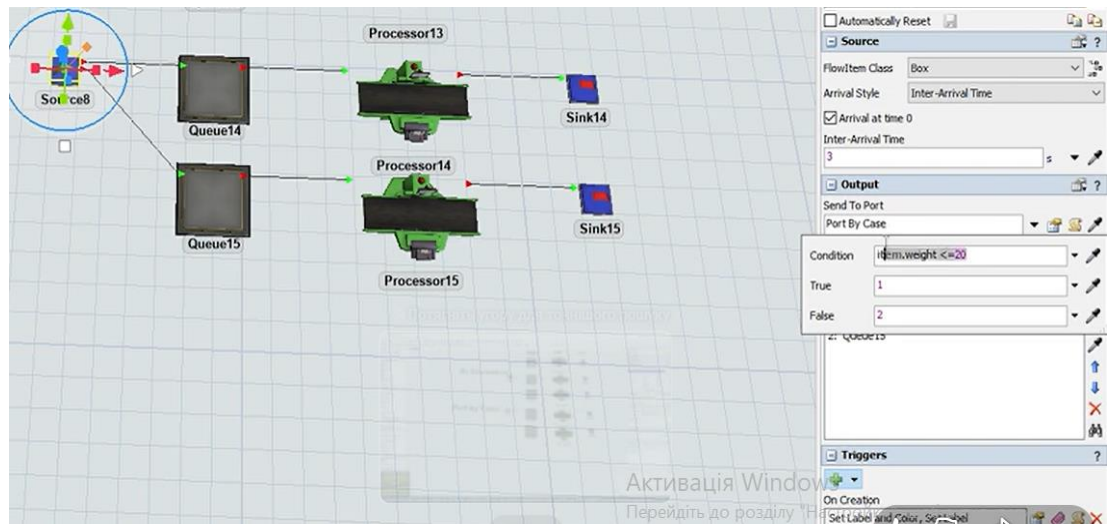


Рис. 2.4. Налаштування Port by Case

Крок 5. Conditional port і маршрутизація за числовими умовами

Conditional port дозволяє використовувати логічні вирази (if/else), що зручно для діапазонів або порогових значень. Це простіше, ніж створювати багато case-правил для неперервних змінних.

1. Додайте label `Weight` (наприклад, `runiform(10, 50)`).
2. У Send to Port виберіть Conditional port і задайте умову: `if item.Weight <= 20 then port1 else port2`.

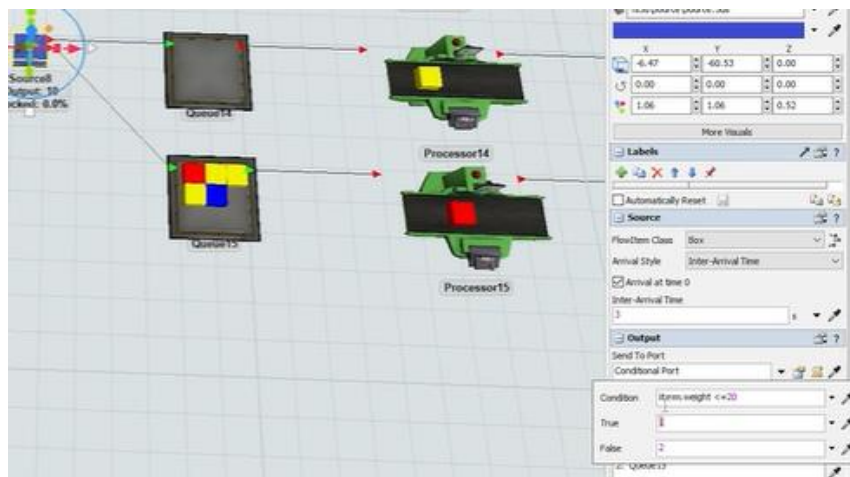


Рис. 2.5. Налаштування Conditional port

Крок 6. Обробка блокувань і повідомлень про недоступність портів

На цьому кроці аналізується, як різні режими реагують на заповненість буферів і чи блокують вони Source. First available і Round robin можуть блокувати Source, якщо обраний порт недоступний. Random available і Shortest queue уникають блокування, бо вибирають лише доступні порти. Це важливо при проектуванні систем, де блокування джерела неприпустиме.

1. Змодельуйте ситуацію, коли перший порт заповнений (зменшіть Max Content у Queue1).
2. Перевірте поведінку для first available, round robin, random, random available.

Крок 7. Виклик оператора і Use Transport

Use Transport змушує Queue викликати доступного Task Executor для перенесення елементів. Це дозволяє аналізувати завантаження операторів, час транспортування і взаємодію між ресурсами — замість миттєвого телепортування елементів між об'єктами моделюється реальне фізичне переміщення.

1. Додайте Operator (Task Executor) у сцену.
2. З'єднайте Center Port оператора з Queue (режим S або Center Port).
3. У Queue → Output увімкніть Use Transport.
4. Натисніть Reset → Run і спостерігайте фізичне переміщення елементів оператором.

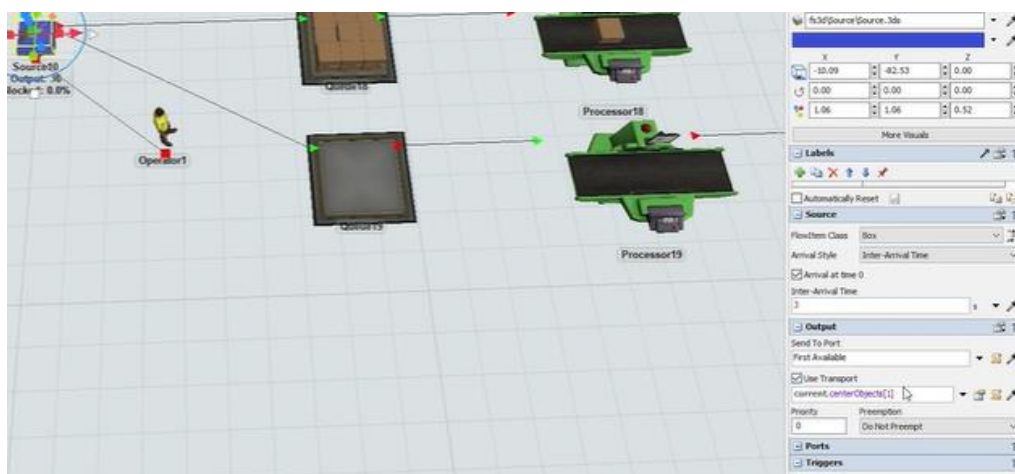


Рис. 2. 6. Налаштування оператора і Use Transport

Загальні вказівки до виконання практичної роботи

1. Ознайомитися з поняттям directional ports у FlexSim та принципом маршрутизації flow items при наявності кількох вихідних з'єднань.

2. Побудувати базову модель Source → Queue → Processor → Sink та підготувати кілька вихідних портів для Source.
3. Послідовно перевірити роботу режимів вибору порту: first available, random, random available, by percentage, round robin, round robin if available, shortest/longest queue.
4. Налаштувати маршрутизацію за мітками (labels): створити ProductType та Weight, застосувати Port by Case, By expression та Conditional port.
5. Дослідити поведінку системи при заповненні буфера (Max Content) для різних режимів вибору порту та проаналізувати випадки блокування Source.
6. Додати Operator з Center Port, увімкнути Use Transport у Queue та перевірити фізичне переміщення елементів.
7. Оформити та захистити звіт зі скріншотами налаштувань кожного режиму маршрутизації та аналізом отриманих результатів.

Контрольні запитання

1. Який режим вибору вихідного порту використовується у FlexSim за замовчуванням і в чому полягає його логіка?
2. Чим відрізняється режим Random від Random available? Чому Random може призвести до блокування Source?
3. Яке призначення режиму By percentage та в яких практичних задачах він є доцільним?
4. Чим відрізняється Round robin від Round robin if available? Який із них стійкіший до блокування?
5. Що таке Conditional port і чим він зручніший за Port by Case при роботі з неперервними числовими параметрами?
6. Які режими маршрутизації найбільш стійкі до блокування Source при заповненому буфері, а які — найменш стійкі? Поясніть чому.
7. Яке призначення опції Use Transport у властивостях Queue та яку перевагу вона надає порівняно зі стандартним переміщенням elements?

ПРАКТИЧНА РОБОТА №3 ВИКОРИСТАННЯ ДІЇ «FIND SLOT ACTIVITY»

Мета роботи: набуття практичних навичок використання дії Find Slot Activity у FlexSim для автоматизованого пошуку та призначення слотів зберігання на стелажах відповідно до типу предмета, з подальшою перевіркою наявності вільного простору та сортуванням результатів пошуку.

Програмний продукт: *FlexSim (версія не нижче 21.0).*

Короткі відомості

Дія Find Slot Activity використовується для пошуку в системі зберігання моделі доступних слотів, які відповідають певним умовам. У цій практичній роботі мітка SKU на слоті стелажа зіставляється з міткою type на входному предметі, після чого знайдений слот призначається предмету для подальшого розвантаження навантажувачем.

Find Slot Activity можна порівняти з диспетчером готелю, який має список усіх вільних номерів (слотів) і знає, який тип гостя (предмет з міткою type) має поселитися у номер (слот з міткою SKU), що відповідає його вимогам. Диспетчер не лише знаходить відповідний номер, але й перевіряє, чи він справді вільний (перевірка ємності), і, якщо можливо, призначає найближчий номер (сортування за ID відсіку).

Крок 1. Створення базової моделі та об'єктів

1. Створення базової структури: перетягніть об'єкт Source (Джерело) у модель і підключіть його до Queue (Черги). Предмети будуть очікувати в черзі, перш ніж їх заберуть.
2. Додавання рухомого обладнання: використовуйте Forklift (Навантажувач) для переміщення предметів із черги в сховище.
3. Додавання стелажів (Racks): перейдіть до Warehouse Library (Бібліотека складу) і перетягніть об'єкт Rack (Стелаж).
 - Налаштуйте розмір стелажа: встановіть кількість відсіків (bays) на вісім, рівнів (levels) на чотири, а слотів на відсік (slots per bay) на два (Edit dimensions).
 - Скопіюйте та вставте його, щоб створити загалом чотири стелажі у макеті.
 - Зверніть увагу: коли ви додаєте об'єкт зберігання, як-от стелаж, FlexSim автоматично створює систему зберігання (storage system) в панелі інструментів (toolbox).

Крок 2. Налаштування міток (Labels)

1. Створення мітки слота (SKU): створіть мітку слота під назвою SKU. Переконайтеся, що опція indexed (індексований) увімкнена. Це прискорює пошук слотів (Toolbox – storage system).

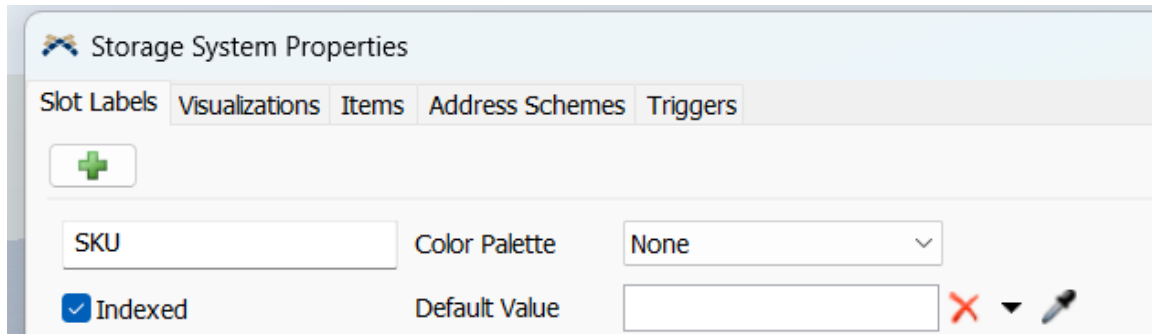


Рис. 3.1. Створення мітки слота SKU у властивостях системи зберігання

2. Налаштування мітки вхідного предмета (Type): додайте мітку до кожного вхідного предмета.
 - Використовуйте тригер on creation (при створенні), щоб створити мітку під назвою type (тип) із випадковим значенням від одиниці до чотирьох. Це допоможе надалі зіставляти предмети зі слотами.

Крок 3. Маркування слотів (Painting Slot Labels)

1. Фарбування міток слотів: використовуйте інструмент paint slot labels (фарбування міток слотів).
 - Встановіть мітку як SKU.
 - Для спрощення виберіть режим paint all slots in the same bay (пофарбувати всі слоти в одному відсіку). Це швидко призначить значення SKU слотам стелажів.

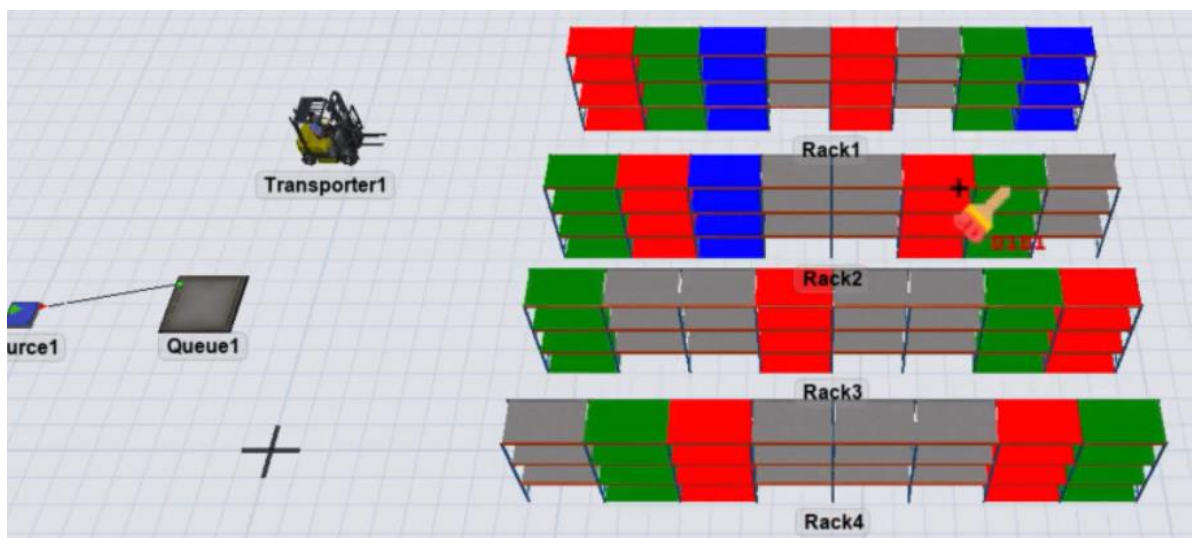


Рис. 3.2. Маркування слотів стелажів інструментом paint slot labels

Крок 4. Налаштування потоку процесів (Process Flow)

1. Створення Process Flow: створіть загальний потік процесів (general process flow).
2. Генерація токена: додайте event trigger (тригер події), щоб генерувати токен щоразу, коли предмет (item) прибуває до черги (queue). Семплером прив'яжіть до Queue1 (On Entry).

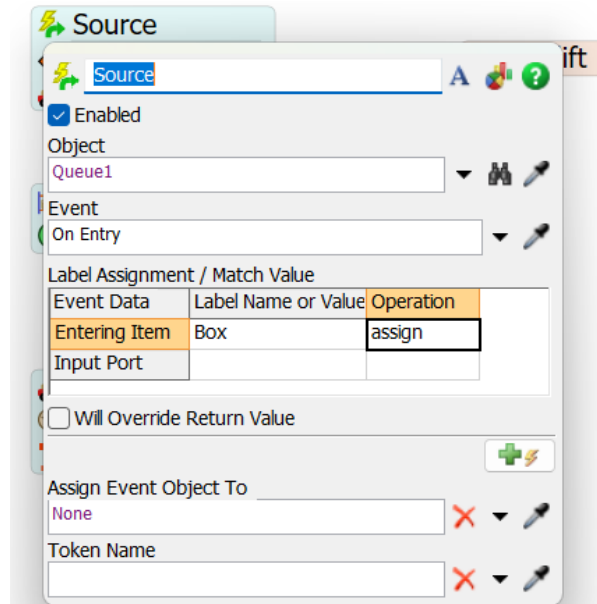


Рис. 3.3. Налаштування тригера генерації токена на подію On Entry черги Queue1

3. Призначення предмета: призначте вхідний предмет як змінну box (Label Assignment / Match Value: Entering Item → Box → assign).
4. Захоплення та завантаження. Додайте та виконайте дію Acquire resource (Захопити), щоб захопити навантажувач (forklift):

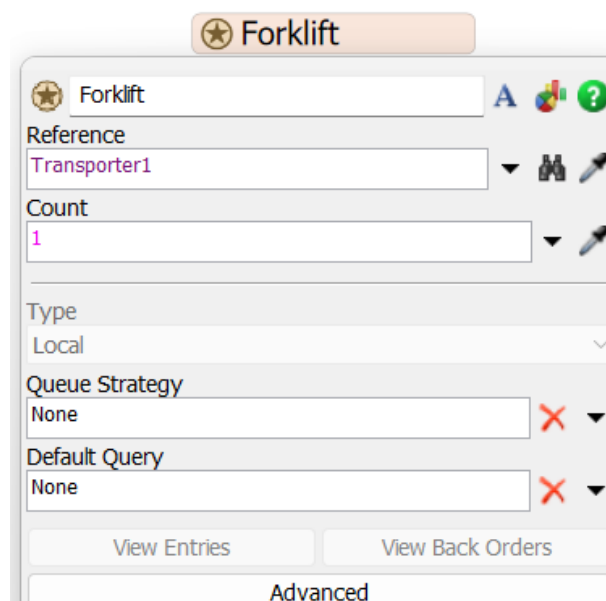


Рис. 3.4. Налаштування ресурсу Forklift

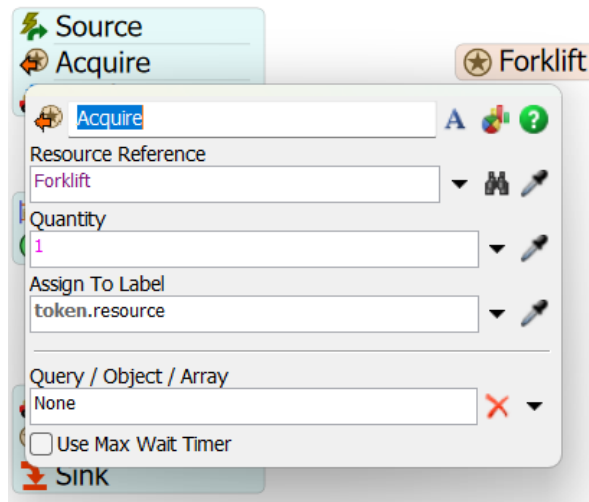


Рис. 3.5. Налаштування дії Acquire (Resource Reference: Forklift, Assign To Label: token.resource)

- Після цього додайте дію Load (Завантажити), щоб підібрати предмет.

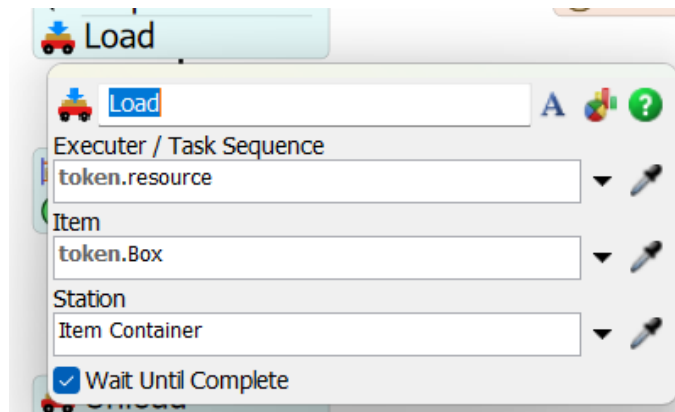


Рис. 3.6. Налаштування дії Load (Executer: token.resource, Item: token.Box)

- Переконайтеся, що ви правильно встановили посилання на виконавця завдання (task executive) та предмет (item references).

Крок 5. Використання Find Slot Activity

- Визначення місця: перш ніж вивантажити предмет, необхідно з'ясувати, куди його помістити. Тут вступає в дію Find Slot Activity (Знайти слот).
- Додавання Find Slot: ви знайдете цю дію в розділі warehousing activities (складські дії).

```
WHERE SKU == $1.Box.Type AND slot.hasSpace($1.Box) ORDER BY
slot.bayID ASC
```

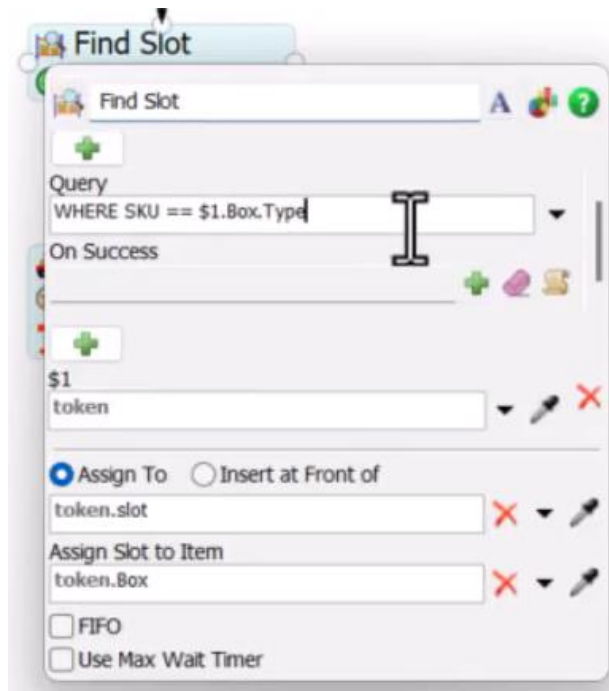


Рис. 3.7. Початкова конфігурація дії Find Slot (Query: WHERE SKU == \$1.Box.Type)

3. Встановлення умов: дія Find Slot використовується для пошуку в системі зберігання моделі доступних слотів, які відповідають певним умовам.

— У нашому випадку ми зіставляємо мітку SKU на слоті з міткою type на вхідному предметі.

— Призначте посилання на слот самому предмету (Assign the slot reference to the item).

4. Отримання посилання на стелаж: використовуйте дію Assign Label (Призначити мітку), щоб отримати об'єкт сховища (storage object), пов'язаний із цим слотом.

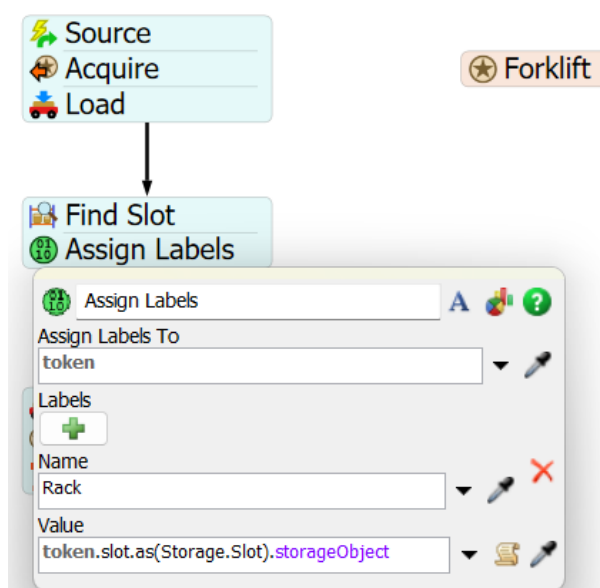


Рис. 3.8. Налаштування дії Assign Labels (Name: Rack, Value: token.slot.as(Storage.Slot).storageObject)

Крок 6. Розвантаження та завершення

1. Розвантаження: тепер ви можете використовувати дію Unload (Розвантажити), щоб помістити предмет у призначений слот.

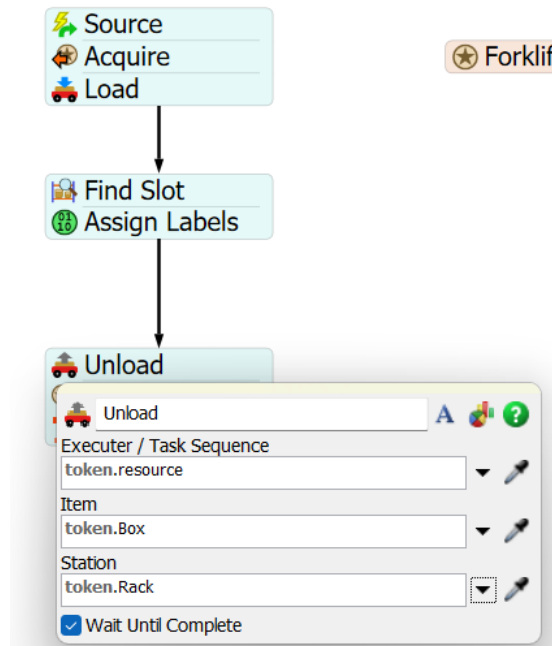


Рис. 3.9. Налаштування дії Unload (Executer: token.resource, Item: token.Box, Station: token.Rack)

2. Звільнення: звільніть навантажувач (Release the forklift).

Крок 7. Оптимізація та перевірка ємності

1. Додавання перевірки ємності: якщо ви запустите модель зараз, ви можете помітити, що всі предмети потрапляють в один стелаж, і ємність не перевіряється. Щоб це виправити, поверніться до дії Find Slot Activity.

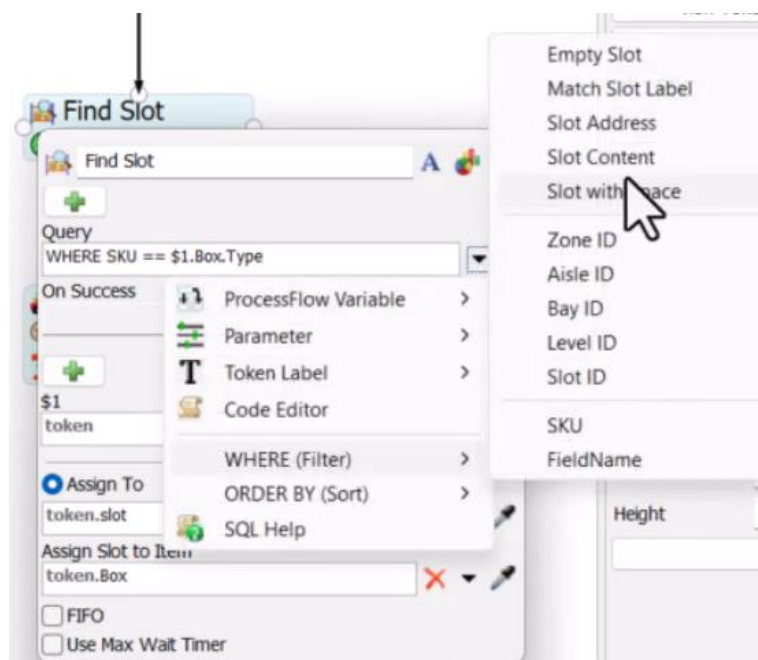


Рис. 3.10. Додавання умови Slot with Space у фільтрі WHERE дії Find Slot

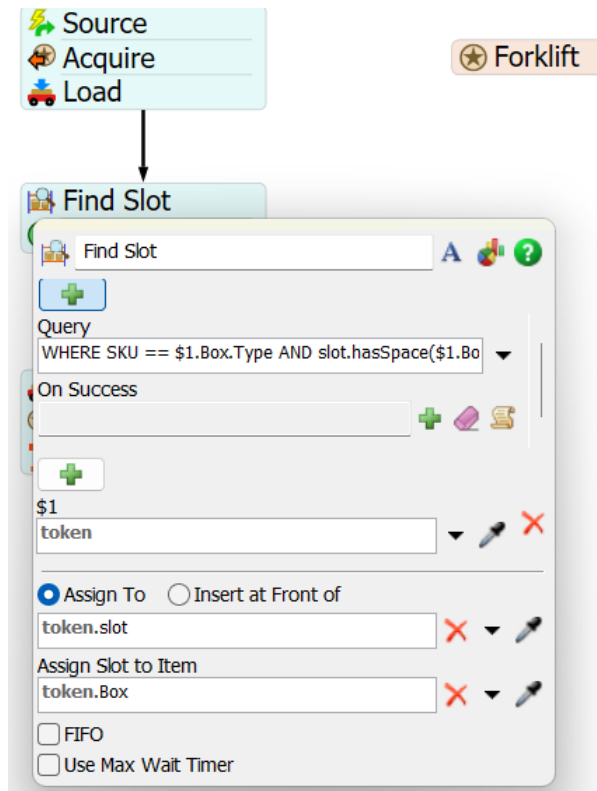


Рис. 3.11. Оновлений запит: WHERE SKU == \$1.Box.Type AND slot.hasSpace(\$1.Box)

— Додайте додаткову умову Where condition (Умова «Де»), щоб перевірити, чи є у слоті доступний простір (space available).

2. Сортування результатів: ви також можете сортувати результати за допомогою order by bay ID (сортувати за ID відсіку). Це гарантує, що навантажувач обирає найближчий доступний слот.

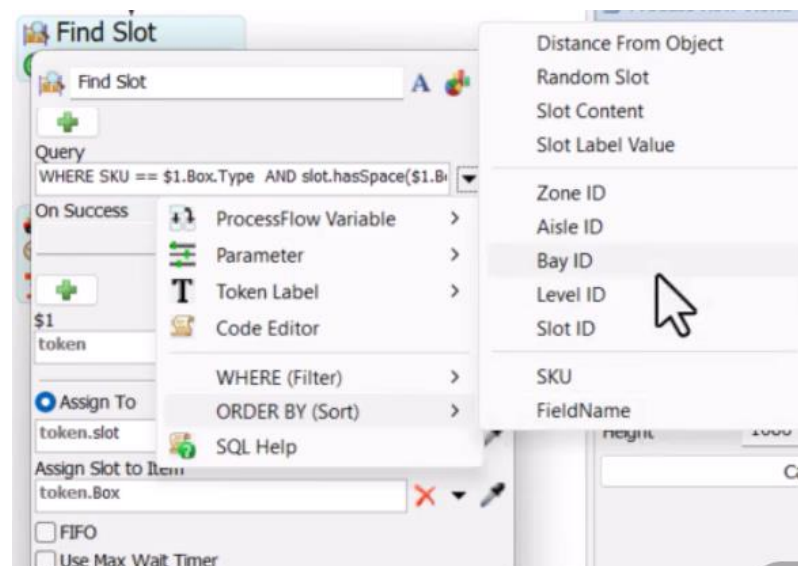


Рис. 3.12. Налаштування сортування ORDER BY → Bay ID

Запустивши модель знову, ви побачите, як предмети розподіляються більш логічно, використовуючи дію Find Slot Activity для контролю розміщення предметів.

Загальні вказівки до виконання практичної роботи

1. Ознайомитися з поняттям системи зберігання (storage system) у FlexSim: роль стелажів (Rack), слотів та міток SKU при організації складського зберігання.
2. Побудувати базову модель: Source → Queue → Forklift → чотири стелажі (Rack) з параметрами 8 відсіків × 4 рівні × 2 слоти.
3. Налаштувати мітки SKU (indexed) для слотів та type (Duniform 1–4) для вхідних предметів, виконати фарбування слотів інструментом paint slot labels.
4. Побудувати потік процесів (Process Flow) з тригером генерації токена на подію On Entry черги, додати активності Acquire, Load для захоплення навантажувача та завантаження предмета.
5. Додати та налаштувати активність Find Slot Activity з умовою WHERE SKU == \$1.Box.Type, призначити посилання на слот і стелаж через Assign Labels.
6. Додати активності Unload та Release для розвантаження предмета у знайдений слот та звільнення навантажувача.
7. Удосконалити запит Find Slot, додавши умову slot.hasSpace(\$1.Box) та сортування ORDER BY bay ID; перевірити рівномірність розподілу предметів після повторного запуску моделі.

Контрольні запитання

1. Що таке Find Slot Activity у FlexSim та для чого вона використовується у системі зберігання?
2. Яке призначення мітки SKU на слоті стелажа та мітки type на вхідному предметі? Як вони зіставляються між собою в запиті Find Slot?
3. Чому опція indexed для мітки SKU прискорює пошук слотів?
4. Поясніть призначення умови slot.hasSpace(\$1.Box) у запиті Find Slot Activity. Яку проблему вона вирішує?
5. Яку роль відіграє сортування ORDER BY bay ID ASC у результатах пошуку слота?
6. Опишіть послідовність дій потоку процесів від моменту прибуття предмета до черги до його розміщення на стелажі (Acquire → Load → Find Slot → Assign Labels → Unload → Release).
7. Чому без перевірки ємності (hasSpace) усі предмети можуть потрапляти в один стелаж? Як це впливає на рівномірність завантаження складу?

ПРАКТИЧНА РОБОТА №4

СТВОРЕННЯ КОРИСТУВАЦЬКОГО ФІКСОВАНОГО РЕСУРСУ

Мета роботи: набуття практичних навичок проектування користувацької логіки фіксованого ресурсу у FlexSim за допомогою потоку процесів об'єкта: створення об'єкта BasicFR з пакетним отриманням та випуском елементів, налаштування активностей «Wait for Event», «Delay», «Change Visual» та «Breathe» для коректної роботи моделі.

Програмний продукт: *FlexSim (версія не нижче 21.0).*

Короткі відомості

У практичній роботі ви дізнаєтеся, як використовувати потік процесів об'єкта для проектування кастомної логіки фіксованого ресурсу. Об'єкт BasicFR — це «чистий аркуш», тобто він не має вбудованої логіки отримання і передавання елементів. Вам потрібно буде явно додати цю логіку через потік процесів.

До моделі додається об'єкт BasicFR (Batch), який отримуватиме три елементи потоку, обробить їх пакетом, а потім передасть далі. Також розглядаються поширені проблеми: невидимість елементів у Batch та одночасний випуск усіх елементів — та їх вирішення.

Крок 1. Побудуйте 3D-модель

Коли побудову завершено, ваша 3D-модель повинна виглядати так:

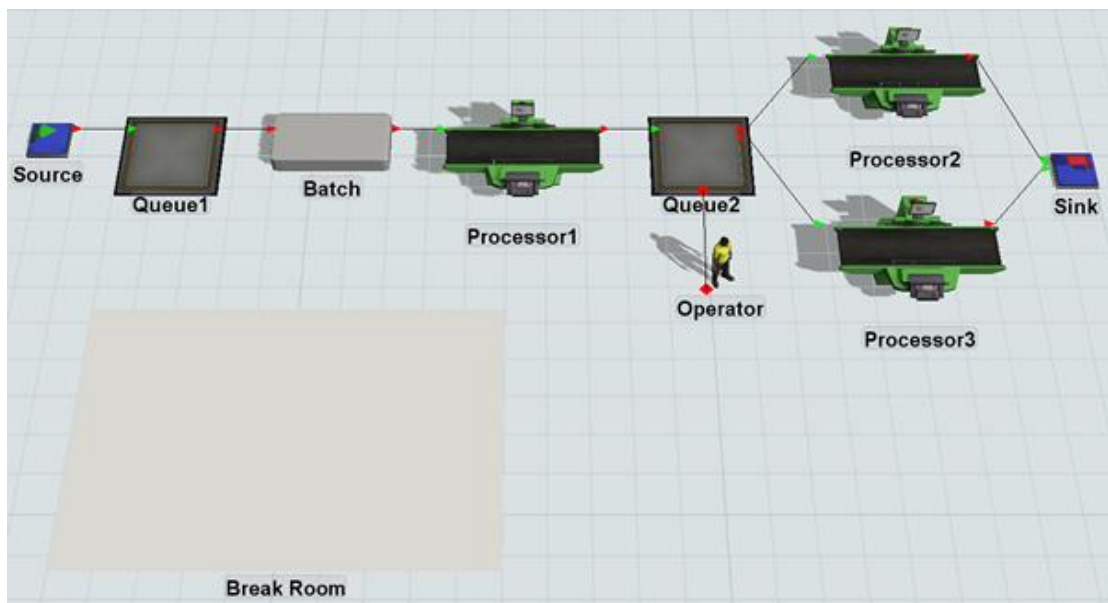


Рис. 4.1. Компонування 3D-моделі

Щоб побудувати цю модель:

1. Перетягніть з бібліотеки такі об'єкти:

- 1 Source
- 2 Queues
- 1 BasicFR
- 1 Operator
- 3 Processors
- 1 Sink
- 1 Plane

2. Розмістіть об'єкти приблизно так, як показано на зображенні на початку цього кроку.

3. Для наочності перейменуйте об'єкти Таблиця 4.1:

Таблиця 4.1

Назви об'єктів

Об'єкт	Нова назва
Source1	<i>Source</i>
BasicFR1	<i>Batch</i>
Operator1	<i>Operator</i>
Sink1	<i>Sink</i>
Plane	<i>Break Room</i>

4. Натисніть на Batch, щоб вибрати його. У властивостях змініть розмір Batch:

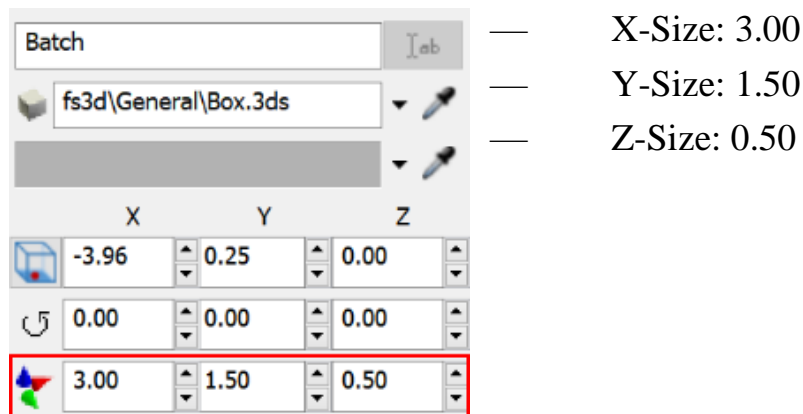


Рис. 4.2. Налаштування розміру об'єкта Batch

5. Створіть з'єднання портів (A-connects):

- Source → Queue1
- Queue1 → Batch
- Batch → Processor1

- Processor1 → Queue2
 - Queue2 → Processor2 та Processor3
 - Processor2 та Processor3 → Sink
6. Створіть підключення до центрального порту (S-connect): Queue2 → Operator.
 7. Натисніть Queue2 та у розділі Output позначте прапорець Use Transport.

Крок 2. Додавання активностей до потоку процесу об'єкта

На цьому кроці ви додасте активності до потоку процесів об'єкта, щоб створити власний фіксований ресурс, який отримуватиме три елементи потоку, оброблятиме їх пакетом, а потім передаватиме далі. Наразі тільки додаєте та з'єднуєте активності — редагування властивостей відбуватиметься на наступному кроці.

1. На головній панелі інструментів натисніть Process Flow → Add an Object Process Flow → Blank.
2. У властивостях видаліть поточну назву та введіть BatchLogic.
3. З бібліотеки додайте активність Schedule Source (розділ Token Creation).
4. Додайте активності Wait for Event та Delay в кінець складеного блоку. Повторіть двічі попередні кроки — разом три однакових блоки.
5. Додайте ще один блок: Delay + три активності Wait for Event.
6. Перейменуйте активності:

Таблиця 4.2.


Назва активностей

Активність	Нова назва
Source	<i>Source: Start Simulation</i>
First Wait For Event	<i>Wait for Event: Receive Item 1</i>
First Delay	<i>Delay: Process Item 1</i>
Second Wait For Event	<i>Wait for Event: Receive Item 2</i>
Second Delay	<i>Delay: Process Item 2</i>
Third Wait For Event	<i>Wait for Event: Receive Item 3</i>
Third Delay	<i>Delay: Process Item 3</i>
Fourth Delay	<i>Delay: Process All Items</i>
Fourth Wait For Event	<i>Wait for Event: Release Item 1</i>
Fifth Wait For Event	<i>Wait for Event: Release Item 2</i>
Sixth Wait For Event	<i>Wait for Event: Release Item 3</i>

7. Створіть конектори між активностями:
 - Source: Start Simulation → Wait for Event: Receive Item 1
 - Delay: Process Item 1 → Wait for Event: Receive Item 2
 - Delay: Process Item 2 → Wait for Event: Receive Item 3
 - Delay: Process Item 3 → Delay: Process All Items
8. Створіть з'єднання від кінця Wait for Event: Release Item 3 назад до Wait for Event: Receive Item 1. Збережіть модель.

Крок 3. Редагування активностей отримання

На цьому кроці редагуються властивості активностей, які обробляють отримані елементи у потоці. Спочатку прив'яжіть Batch до потоку процесів, що спрощує масштабування складних моделей.

1. Клацніть порожнє місце в потоці процесу. У властивостях під Process Flow Instances → Attached Objects натисніть кнопку Sampler  та у 3D-моделі клацніть Batch.
2. Виберіть активність Wait for Event: Receive Item 1. Переконайтесь, що Object відображає current (No Instance).
3. Поруч із полем Event натисніть Sampler, клацніть Batch у 3D-моделі та виберіть On Entry.
4. У таблиці Label Matching/Assignment у рядку Entering Item введіть у поле Label Name значення Item1, у поле Operation — assign.

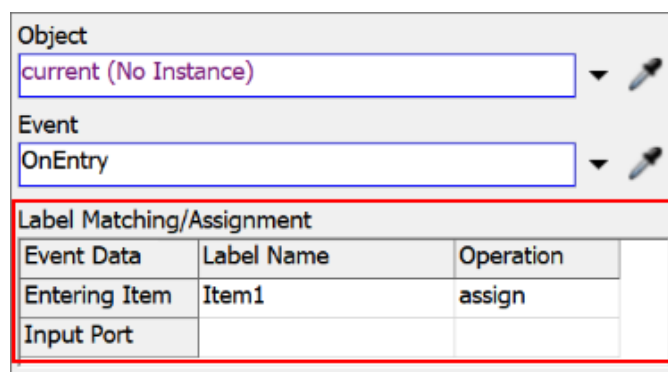


Рис. 4.3. Налаштування Wait for Event: Receive Item 1

5. Поруч із On Listener Initialized натисніть Add → Control → BasicFR → Receive Item. Залиште параметри за замовчуванням.

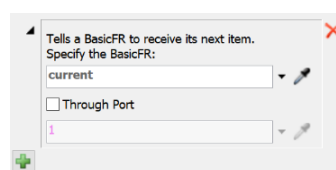


Рис. 4.4. Параметри списку вибору Receive Item

- Повторіть кроки 2–5 для Wait for Event: Receive Item 2 та Receive Item 3, використавши назви міток Item2 та Item3 відповідно.
- Виберіть активність Delay: Process Item 1, у полі Delay Time введіть 5.00. Повторіть для Delay: Process Item 2 та Delay: Process Item 3.

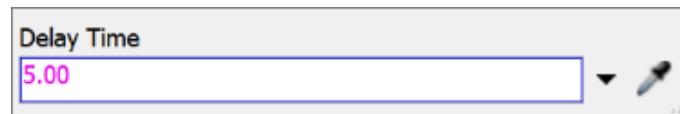


Рис. 4.5. Налаштування Delay Time = 5.00

Крок 4. Редагування активностей випуску

На цьому кроці редагуються властивості активностей, що відповідають за вивільнення елементів. Активності «Wait for Event: Release Items» є дзеркальним відображенням перших трьох: вони слухають подію On Exit об'єкта Batch і випускають конкретний елемент за міткою token.Item1/2/3.

- Виберіть Delay: Process All Items, у полі Delay Time введіть 10.00.

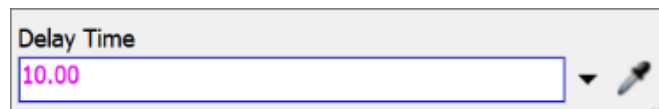


Рис. 4.6. Налаштування Delay Time = 10.00 для Process All Items

- Виберіть Wait for Event: Release Item 1. Переконайтесь, що Object — current (No Instance).
- Поруч із Event натисніть Sampler, клацніть Batch у 3D-моделі та виберіть On Exit.
- Поруч із On Listener Initialized натисніть Add → Control → BasicFR → Release Item. У полі Specify the item to release введіть token.Item1.

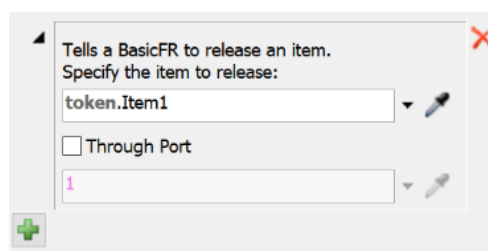


Рис. 4.7. Параметри Release Item для token.Item1

- Повторіть кроки 2–4 для Release Item 2 та Release Item 3, використавши token.Item2 та token.Item3. Збережіть модель.

Крок 5. Протестуйте модель

Скиньте та запустіть модель. Ви помітите дві проблеми:

- Елементи потоку не відображаються всередині Batch (поглинаються вгору і невидимі).

— Batch вивільняє всі три елементи одночасно, замість послідовно, що призводить до некоректної обробки в Processor1. Обидві проблеми будуть вирішені у кроках 6 та 7.

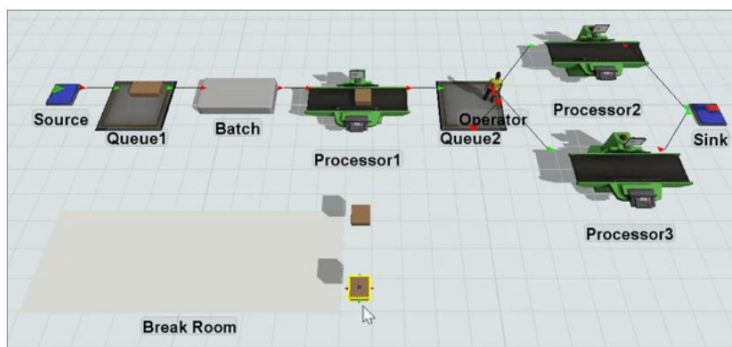


Рис. 4.8. Модель у процесі роботи — елементи з'являються під Batch

Крок 6. Змінення візуальних елементів потоку

Для вирішення проблеми невидимості елементів у Batch додайте три активності «Change Visual» (по одній для кожного елемента) між відповідними блоками Wait for Event та Delay. Вираз `current.size.z` розміщує елемент поверх об'єкта-контейнера.

1. Наведіть курсор на лінію між Wait for Event: Receive Item 1 та Delay: Process Item 1. Коли вона стане жовтою — двічі клацніть. У Quick Library (розділ Visual) натисніть Change Visual.
2. Повторіть для двох наступних пар (Receive Item 2 / Process Item 2 та Receive Item 3 / Process Item 3).

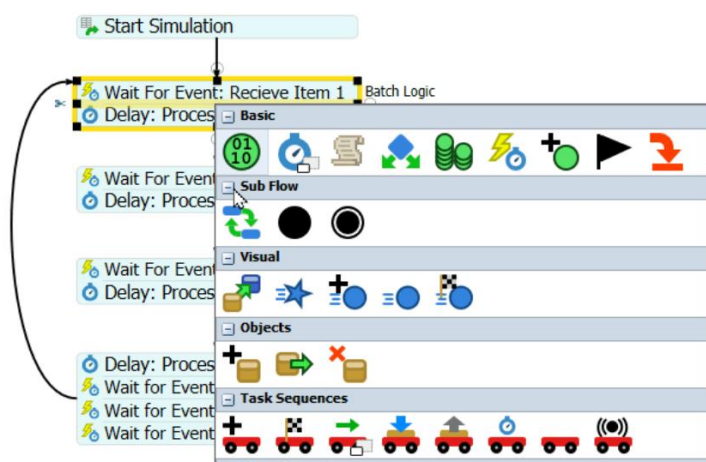
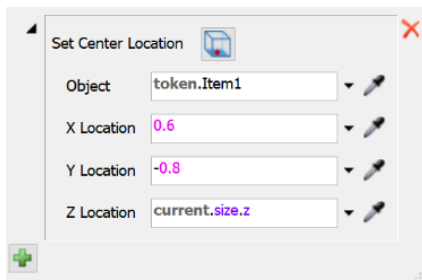


Рис. 4.9. Додавання активності Change Visual через Quick Library

3. Переіменуйте нові активності:

- Change Visual: Item 1 Location
- Change Visual: Item 2 Location
- Change Visual: Item 3 Location

4. Виберіть Change Visual: Item 1 Location. У властивостях натисніть Add → Set Location та встановіть:



- Object: token.Item1
- X Location: 0.6
- Y Location: -0.8
- Z Location: current.size.z

Рис. 4.10. Параметри розташування для Item 1

5. Для Item 2 Location: Object — token.Item2, X — 1.5, Y — -0.8, Z — current.size.z.

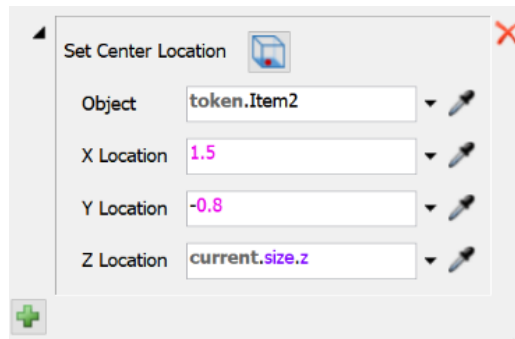


Рис. 4.11 Параметри розташування для Item 2

6. Для Item 3 Location: Object — token.Item3, X — 2.4, Y — -0.8, Z — current.size.z.

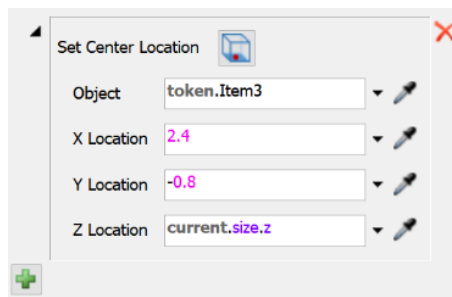


Рис. 4.12 Параметри розташування для Item 3

Запустіть модель — елементи потоку тепер відобразатимуться в Batch на правильних позиціях.

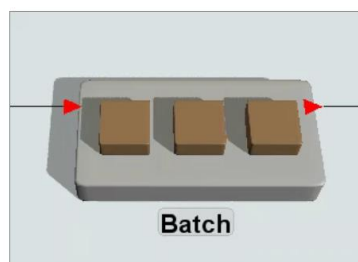


Рис. 4.13. Три елементи потоку коректно розміщені в Batch

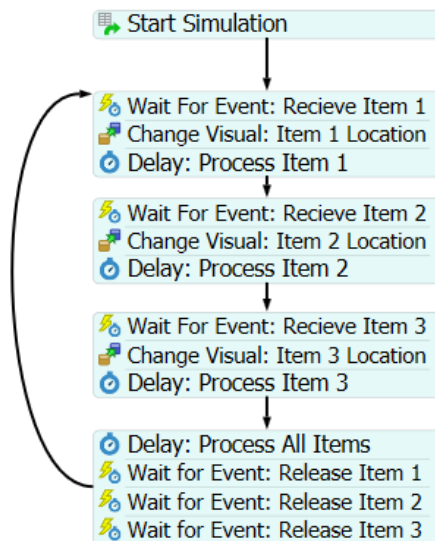


Рис. 4.14. Потік процесів після додавання активностей Change Visual

Крок 7. Додавання активностей Breathe до потоку процесу

Друга проблема — одночасний випуск усіх елементів — спричинена особливостями обробки подій FlexSim. Коли Batch's On Exit спрацьовує для першого елемента, FlexSim одразу запускає інші активності «Wait for Event», звільняючи всі елементи до того, як процесор встигає закрити вхідний порт.

Виправлення: додайте активність Breathe (Delay з затримкою 0 секунд) між кожним «Wait for Event: Release Item». Це дає початковій події час завершити обробку перед тим, як токен рухатиметься далі.

1. Наведіть курсор на лінію між Wait for Event: Release Item 1 та Wait for Event: Release Item 2. Коли жовта — двічі клацніть. У Quick Library (розділ Basic) натисніть Breathe.
2. Повторіть: додайте Breathe між Release Item 2 та Release Item 3, і після Release Item 3.
3. Перейменуйте: Breathe 1, Breathe 2, Breathe 3.

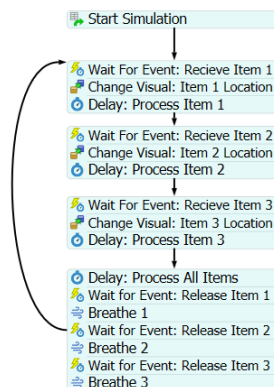


Рис. 4.15. Фінальний вигляд потоку процесів з активностями Breathe

Скиньте та запустіть модель — тепер елементи залишатимуть Batch по одному, послідовно. Збережіть модель.

Загальні вказівки до виконання практичної роботи

1. Ознайомитися з поняттям BasicFR та потоку процесів об'єкта у FlexSim: відмінності від стандартних фіксованих ресурсів, роль активностей Receive Item та Release Item.
2. Побудувати 3D-модель відповідно до схеми (Source → Queue1 → Batch → Processor1 → Queue2 → Processor2/3 → Sink), перейменувати об'єкти та задати розмір Batch.
3. Створити потік процесів BatchLogic: додати та з'єднати всі необхідні активності (Source, Wait for Event, Delay) відповідно до схеми кроку 2.
4. Налаштувати активності отримання (кроки 3): прикріпити Batch, задати події On Entry, мітки Item1/2/3 та час затримки 5 секунд.
5. Налаштувати активності випуску (крок 4): задати події On Exit, посилення token.Item1/2/3, час затримки 10 секунд для пакетної обробки.
6. Додати активності Change Visual для коректного відображення елементів у Batch та Breathe для усунення проблеми одночасного випуску.
7. Оформити та захистити звіт зі скріншотами потоку процесів та результатів роботи моделі.

Контрольні запитання

1. Що таке BasicFR у FlexSim та чим він відрізняється від стандартних об'єктів (Queue, Processor)?
2. Яке призначення активності «Wait for Event» у потоці процесів об'єкта? Як вона пов'язується з подіями On Entry та On Exit?
3. Що таке таблиця Label Matching/Assignment та яку роль відіграють мітки Item1, Item2, Item3 у логіці потоку?
4. Поясніть призначення активності «Change Visual» та виразу `current.size.z`. Яку проблему вони вирішують?
5. Що таке активність «Breathe» у FlexSim? Опишіть проблему одночасного випуску елементів і механізм її усунення.
6. Яка різниця між з'єднаннями A-connect та S-connect у FlexSim? Де в цій моделі використовується кожен тип?
7. Поясніть, чому в потоці процесів використовується OnListenerInitialized для логіки отримання/вивільнення елементів, а не прямий виклик (releaseitem).

ПРАКТИЧНА РОБОТА №5

СТВОРЕННЯ КОРИСТУВАЦЬКОГО ВИКОНАВЦЯ ЗАВДАНЬ

Мета роботи: набуття практичних навичок модифікації виконавця завдань (Task Executor) у FlexSim за допомогою потоку процесів об'єкта: реалізація логіки повернення Оператора до зони очікування після виконання завдання, перевірка наявності нового завдання та переміщення до кімнати відпочинку при простой.

Програмний продукт: *FlexSim (версія не нижче 21.0).*

Короткі відомості

У цій практичній роботі ви дізнаєтеся, як модифікувати існуючий виконавець завдань за допомогою потоку процесів об'єкта. Моделюється Оператор, який після виконання чергового завдання повертається до зони очікування біля черги. Якщо новий вантаж не з'являється протягом 10 секунд, Оператор переміщається до кімнати відпочинку та очікує там до появи нового завдання.

Такий підхід використовує потік процесів типу «Task Executor Process Flow», що дозволяє додавати будь-яку кастомну поведінку до виконавця завдань без зміни логіки самих фіксованих ресурсів.

Крок 1. Додавання активностей до потоку процесів виконавця завдань

На цьому кроці ви додасте активності до потоку процесів та з'єднаєте їх. Коли ви закінчите, ваш потік процесів повинен мати такий вигляд:

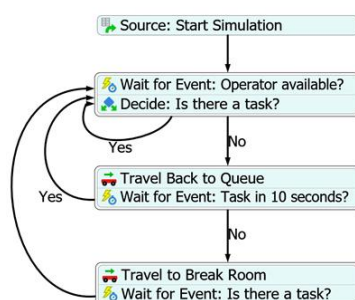


Рис. 5.1. Схема потоку процесів OperatorLogic

Щоб додати та підключити активності:

1. На головній панелі інструментів натисніть Process Flow → Add a Task Executor Process Flow → Blank.
2. У властивостях у полі Process Flow Name видаліть поточний текст і введіть OperatorLogic.
3. З бібліотеки додайте активність Schedule Source (розділ Token Creation).

4. Додайте наведені нижче активності для першого складеного блоку:
 - Wait for Event
 - Decide
5. Додайте активності для другого складеного блоку:
 - Travel
 - Wait for Event
6. Додайте активності для третього складеного блоку:
 - Travel
 - Wait for Event
7. Перейменуйте активності:

Таблиця 5.1.

Назви активностей

Активність	Нова назва
Source	<i>Source: Start Simulation</i>
First Wait for Event	<i>Wait for Event: Operator available?</i>
Decide	<i>Decide: Is there a task?</i>
First Travel	<i>Travel Back to Queue</i>
Second Wait for Event	<i>Wait for Event: Task in 10 seconds?</i>
Second Travel	<i>Travel to Break Room</i>
Third Wait for Event	<i>Wait for Event: Is there a task?</i>

8. Створіть конектори між активностями:
 - Source: Start Simulation → Wait for Event: Operator available?
 - Decide: Is there a task? → Travel Back to Queue
 - Wait for Event: Task in 10 seconds? → Travel to Break Room
9. Виберіть конектор від Decide: Is there a task? до Travel Back to Queue. У властивостях у полі Name введіть No.
10. Виберіть конектор від Wait for Event: Task in 10 seconds? до Travel to Break Room. У властивостях у полі Name введіть No.
11. Створіть зворотні конектори від кінця кожного з трьох складених блоків назад до Wait for Event: Operator available?
12. Виберіть конектор від Decide: Is there a task? назад до Wait for Event: Operator available? та у полі Name введіть Yes.

13. Виберіть конектор від Wait for Event: Task in 10 seconds? назад до Wait for Event: Operator available? та у полі Name введіть Yes. Збережіть модель.

Крок 2. Редагування першого блоку активностей

На цьому кроці редагуються властивості перших трьох активностей. Спочатку прив'яжіть Оператора як екземпляр до потоку процесів — це дозволяє використовувати ключове слово `current` для динамічного посилання на об'єкт і спрощує масштабування моделі.

1. Клацніть порожнє місце в потоці процесу. У властивостях під Process Flow Instances → Attached Objects натисніть Sampler та клацніть Operator у 3D-моделі.
2. Виберіть Wait for Event: Operator available? Переконайтесь, що Object відображає `current (No Instance)`.
3. Поруч із полем Event натисніть Sampler, клацніть Operator у 3D-моделі та виберіть On Resource Available.
4. У таблиці Label Matching/Assignment у рядку Next Task Seq введіть у поле Label Name значення `nextTask`, у поле Operation — `assign`.

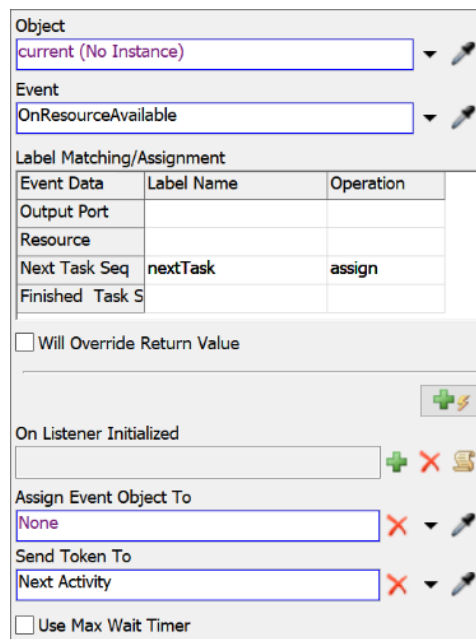


Рис. 5.2. Налаштування Wait for Event: Operator available?

5. Виберіть Decide: Is there a task? У властивостях натисніть стрілку поруч із Send Token To → Conditional Decide. Встановіть:
 - Condition: `token.nextTask`
 - True: "Yes"
 - False: "No"

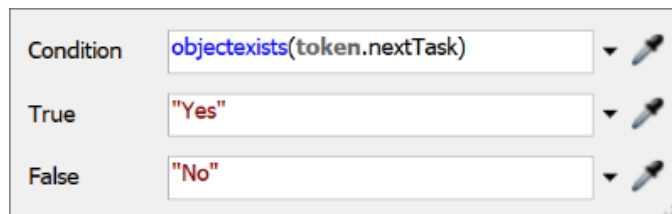


Рис. 5.3. Налаштування Decide: Is there a task?

Збережіть модель.

Крок 3. Редагування другого блоку активностей

На цьому кроці редагуються властивості решти активностей, що керують переміщенням Оператора до черги та кімнати відпочинку.

1. Виберіть Travel Back to Queue. У властивостях натисніть стрілку поруч із T Executer / Task Sequence → current (Instance Object).
2. Поруч із полем Destination натисніть Sampler та виберіть Queue2 у 3D-моделі.

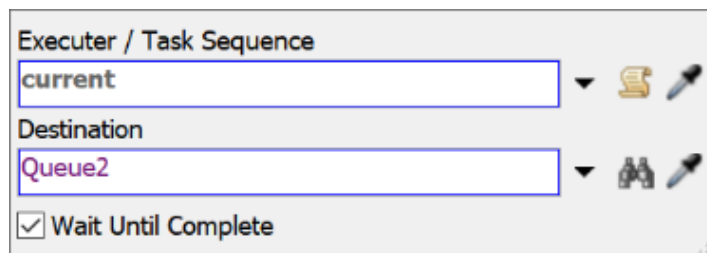


Рис. 5.4. Налаштування Travel Back to Queue

3. Виберіть Wait for Event: Task in 10 seconds? Переконайтесь, що Object — current (No Instance).
4. Поруч із полем Event натисніть Sampler, клацніть Operator та виберіть On Start Task.
5. Увімкніть прапорець Use Max Wait Timer. У полі Time введіть 10.00.
6. Поруч із OnWaitTimerFired натисніть Edit Properties. Розгорніть Release Token та у полі Destination введіть "No".
7. Виберіть Travel to Break Room. У властивостях натисніть стрілку поруч із T Executer / Task Sequence → current (Instance Object).
8. Поруч із полем Destination натисніть Sampler та виберіть Break Room у 3D-моделі.
9. Виберіть Wait for Event: Is there a task? Переконайтесь, що Object — current (No Instance).

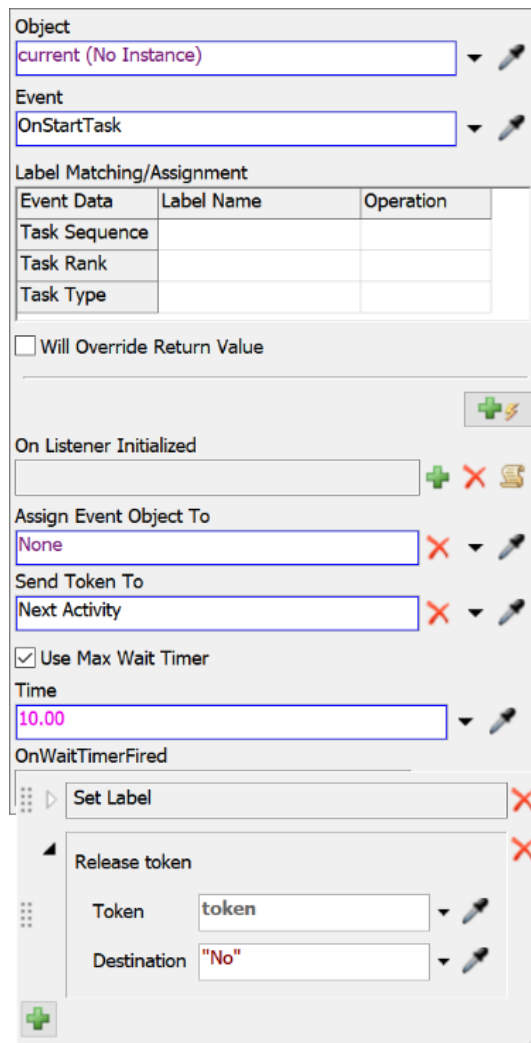


Рис. 5.5. Налаштування Wait for Event: Task in 10 seconds?

10. Поруч із полем Event натисніть Sampler, клацніть Operator та виберіть On Start Task. Збережіть модель.

Крок 4. Запустіть модель

Скиньте налаштування та запустіть модель. Ви повинні бачити Оператора, який переносить елементи до процесорів. Після завершення транспортної операції токен рухається через потік процесів:

— Якщо новий вантаж з'явиться протягом 10 секунд — Оператор одразу починає нове завдання.

— Якщо протягом 10 секунд нових завдань немає — Оператор переміщується до Break Room та очікує там до появи нового завдання.

Збережіть готову модель.

Загальні вказівки до виконання практичної роботи

1. Ознайомитися з поняттям Task Executer Process Flow у FlexSim: відмінності від Object Process Flow, роль активностей Travel, Wait for Event та Decide у логіці переміщення виконавця завдань.

2. Використати готову 3D-модель з практичної роботи №4 (або відтворити аналогічну) з об'єктами Source, Queue1, Batch, Processor1, Queue2, Processor2, Processor3, Sink, Operator, Break Room.
3. Створити потік процесів OperatorLogic типу Task Executer Process Flow: додати та з'єднати всі активності відповідно до схеми (крок 1), задати назви конекторам Yes/No.
4. Налаштувати перший блок: прив'язати Operator як екземпляр, задати подію On Resource Available, мітку nextTask та умову Decide з посиланням на token.nextTask.
5. Налаштувати другий блок: задати переміщення до Queue2 та Break Room, подію On Start Task з таймером 10 секунд та переходом по конектору "No" після спрацювання таймера.
6. Запустити модель, перевірити коректність поведінки Оператора: повернення до черги, очікування 10 секунд, переміщення до кімнати відпочинку.
7. Оформити та захистити звіт зі скріншотами потоку процесів, налаштувань активностей та результатів роботи моделі.

Контрольні запитання

1. Що таке Task Executer Process Flow у FlexSim та чим він відрізняється від Object Process Flow?
2. Яку подію слухає активність Wait for Event: Operator available? та що означає мітка nextTask на токени?
3. Яке призначення активності Decide: Is there a task? та як налаштовуються конектори Yes/No для розгалуження логіки?
4. Яку роль відіграє активність Travel у потоці процесів виконавця завдань? Що означає параметр current (Instance Object) для T Executer / Task Sequence?
5. Що таке Use Max Wait Timer у Wait for Event та як налаштовується перехід по конектору "No" після спрацювання таймера?
6. Чому Оператор прикріплюється як екземпляр до потоку процесів? Яку перевагу це надає при масштабуванні моделі?
7. Опишіть повну логіку поведінки Оператора в цій моделі: від завершення завдання до початку наступного або переходу до кімнати відпочинку.

ПРАКТИЧНА РОБОТА №6

ПОКАЗНИК ЕФЕКТИВНОСТІ ТА ЗАВДАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ

Мета роботи: набуття практичних навичок побудови 3D-моделі складської системи у FlexSim, створення параметрів і показників ефективності, а також розробки та виконання завдання експерименту для порівняльного аналізу різних сценаріїв компонування обладнання.

Програмний продукт: *FlexSim (версія не нижче 21.0).*

Короткі відомості

У цій практичній роботі використовується завдання експерименту для визначення кількох сценаріїв та виконання серії повторень кожного з них. Розглядається спрощена ситуація: один оператор переносить вироби від джерела через два процесори до приймача. Перший процесор обробляє деталь швидше, другий — повільніше.

Завдання полягає в тому, щоб максимізувати пропускну здатність системи, регулюючи позиції процесорів уздовж осі X. Якби кожен процесор міг переміщатися на три метри вправо або вліво від початкового положення, де саме їх розмістити для максимальної продуктивності? Для точного вирішення цієї задачі використовуються інструменти Experimenter та параметрична таблиця FlexSim.

Крок 1. Побудуйте 3D-модель

Коли ви закінчите побудову, ваша модель повинна мати такий вигляд:

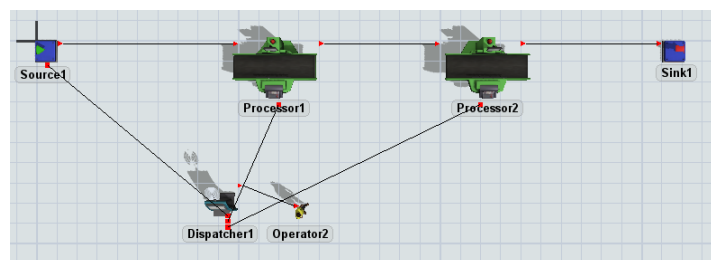



Рис. 6.1. Розташування об'єктів 3D-моделі

Щоб побудувати цю модель:

1. Переконайтеся, що вікно 3D-моделі відкрите та активне. З бібліотеки перетягніть до моделі такі 3D-об'єкти:
 - Source
 - Processor (двічі)
 - Sink
 - Dispatcher
 - Operator

2. Натисніть на Source1. Натисніть кнопку Position  та встановіть посилання на позицію Direct Spatial.
3. Встановіть розташування об'єктів відповідно до таблиці 6.1:

Таблиця 6.1.

Розташування об'єктів

Об'єкт	Позиція X	Позиція Y
Source1	0.0	0.0
Processor1	10.0	0.0
Processor2	20.0	0.0
Sink1	30.0	0.0
Dispatcher1	—	—
Operator2	—	—

4. Dispatcher та Operator не потребують точного розміщення, але не повинні знаходитись на одній лінії з іншими об'єктами.
5. Задайте таку логіку:
 - Встановіть Source1, Processor1 та Processor2 у режим Use Transport (розділ Output → прапорець Use Transport).
 - Встановіть час процесу Processor1:
normal (10, 2, getstream(current)).
 - Встановіть час процесу Processor2:
normal (12, 3, getstream(current)).

Властивість Use Transport повідомляє FlexSim, який виконавець завдання повинен передавати потік пункт. За замовчуванням, коли ви встановлюєте цей пункт, відображається вираз FlexScript із текстом. Що означає цей вислів? `current.centerObjects[1]`

- Це слово `current` відноситься до поточного об'єкта, який ви визначаєте на об'єкт. Отже, якщо ви визначаєте цю властивість на процесорі, вона відноситься до цього процесора.
- Ця фраза `centerObjects` є фрагментом коду FlexScript, який повідомляє об'єкт для використання виконавця завдання, який підключений до його центрального порту.

Число в дужках вказує на використання об'єкта, підключеного до центрального порту з рейтингом 1. Якщо ви змініте це число на 2, воно буде використовувати. Замість цього виконавець завдання підключився до другого порту.

Крок 2. Створення параметрів

Для створення параметрів використовується таблиця параметрів моделі. Кожен параметр буде пов'язаний з процесором і при скиданні моделі процесор переміщатиметься так, щоб його координата x-location відповідала значенню параметра.

1. У Toolbox двічі клацніть на піктограмі Model Parameter Table з назвою Parameters, щоб відкрити її. Закріпіть панель праворуч від 3D-вікна.

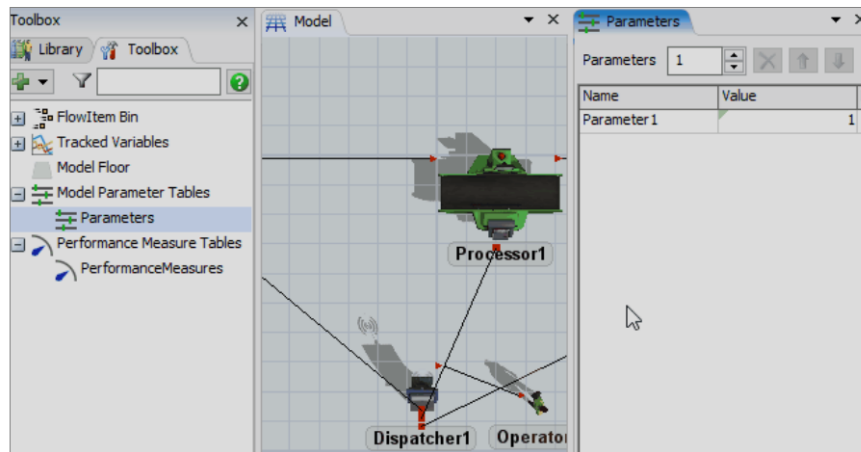





Рис. 6.2. Таблиця параметрів моделі у Toolbox

2. Натисніть на комірку Value для Parameter1. Клацніть  стрілку вниз і встановіть:
 - Встановіть параметр **Lower Bound** до 7, параметр **Upper Bound** до 13
 - Натисніть кнопку вибору  поруч із піктограмою **Reference** поле.
 - Натисніть на **Processor1**, вказати на **Properties** а потім виберіть **SetupTime**., натисніть кнопку властивостей  поруч із піктограмою **On Set** поле.
 - Зміна **Property** to **Location.X**., Натисніть на властивості значення параметра, щоб закрити спливаюче вікно.

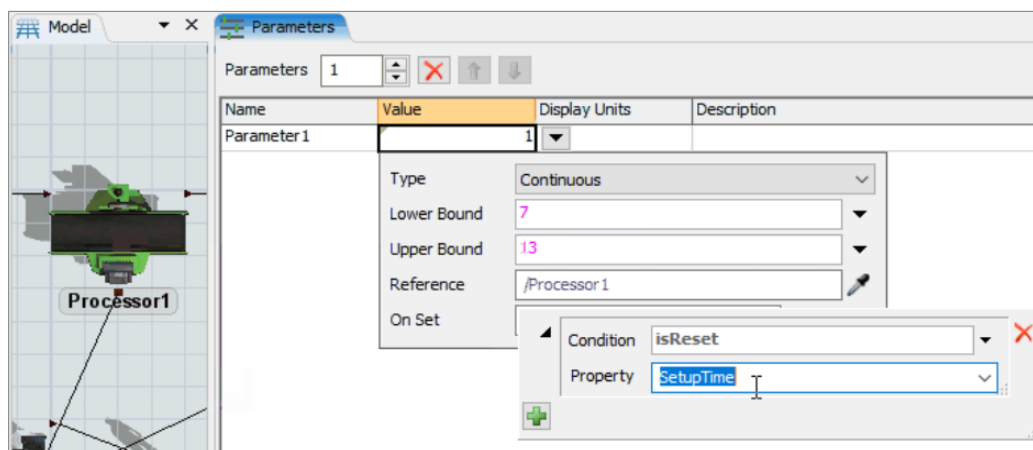





Рис. 6.3. Налаштування властивостей Parameter1

3. У верхній частині таблиці параметрів натисніть кнопку вгору, щоб додати ще один параметр.

- Натисніть на кнопку Value клітка для Parameter1 щоб вибрати його.
- Натисніть Ctrl-C щоб скопіювати значення
- Натисніть на кнопку Value клітка для Parameter2 , щоб вибрати його.
- Натисніть Ctrl-V , щоб вставити значення.
- Клацніть піктограму  Кнопку , щоб відкрити властивості значення параметра для Parameter2.
- Встановіть параметр Lower Bound to 17
- Встановіть параметр Upper Bound to 23
- Натисніть кнопку вибору проби  поруч із піктограмою Reference поле.
- Натисніть на Processor2, і вибирати Processor2.



Щоб побачити, як працюють ці параметри, скиньте модель. Processor1 повинен рухатися так що x-location є 7, і Processor2 повинен рухатися так що x-location є 17. Відредагуйте таблицю параметрів і введіть нові значення для Parameter1 і Parameter2, Наприклад 10 і 20. При повторному скиданні моделі процесори повинні переміститися відповідати.

Конфігурація значення параметра та значення

Щоб відредагувати поточне значення параметра, ви можете встановити його значення безпосередньо в таблиці. Щоб відредагувати конфігурацію значення (Type, bounds, On Set тощо), вам потрібно буде відкрити параметр Вікно властивостей value натисканням кнопки  Кнопку.

Крок 3. Створення показників ефективності

На панелі Toolbox двічі клацніть таблицю Performance Measures з назвою PerformanceMeasures. Закріпіть її поруч із таблицею параметрів.

1. Клацніть комірку Value для PerformanceMeasure1.
2. Натисніть стрілку  вниз, щоб відкрити властивості показника ефективності.
3. Натисніть кнопку Sampler  . Клацніть на Sink1, наведіть на Statistics та виберіть Input.

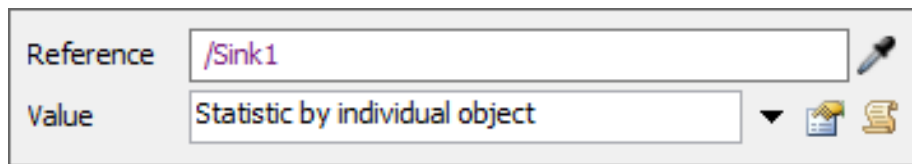


Рис. 6.4. Налаштування посилання показника ефективності на Sink1

Клацніть за межами вікна властивостей значення показника ефективності, щоб закрити його.

Тепер, якщо запустити модель достатньо довго, можна спостерігати, як значення показника ефективності зростає зі збільшенням кількості елементів у приймачі. Збережіть модель.

Крок 4. Розробка завдання експерименту

Тепер, коли параметри та показники ефективності створені, налаштуємо завдання експерименту для виконання реплікацій кількох сценаріїв.

1. У меню Statistics виберіть Experimenter. У вікні вже має бути присутнє завдання Experiment1.
2. Поставте галочку в списку Parameters — це додасть усі параметри з таблиці Parameters до експерименту.
3. Створіть 5 сценаріїв, ввівши 5 у поле кількості сценаріїв.
4. Введіть назви та значення сценаріїв відповідно до зображення:

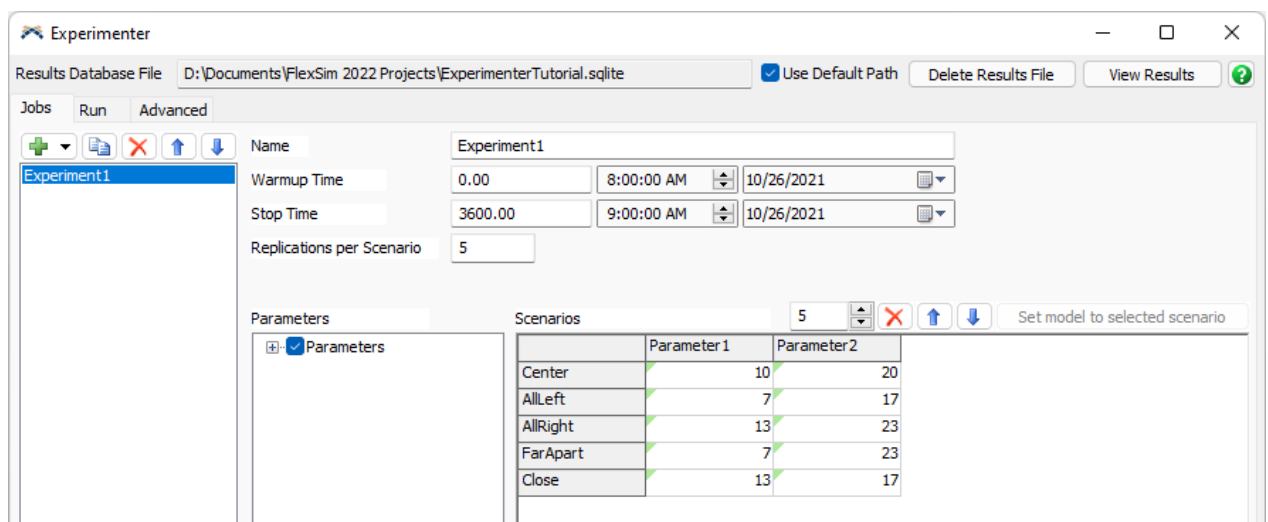


Рис. 6.5. Таблиця сценаріїв завдання Experiment1

Крок 5. Виконання завдання експерименту

Перейдіть на вкладку Run та натисніть кнопку Run. Кожен сценарій буде виконано 5 разів, і результати показника ефективності збиратимуться після кожного запуску. Діаграма статусу показуватиме, які сценарії та репліки зараз виконуються. FlexSim може запускати кілька сценаріїв одночасно на багатоядерному процесорі.

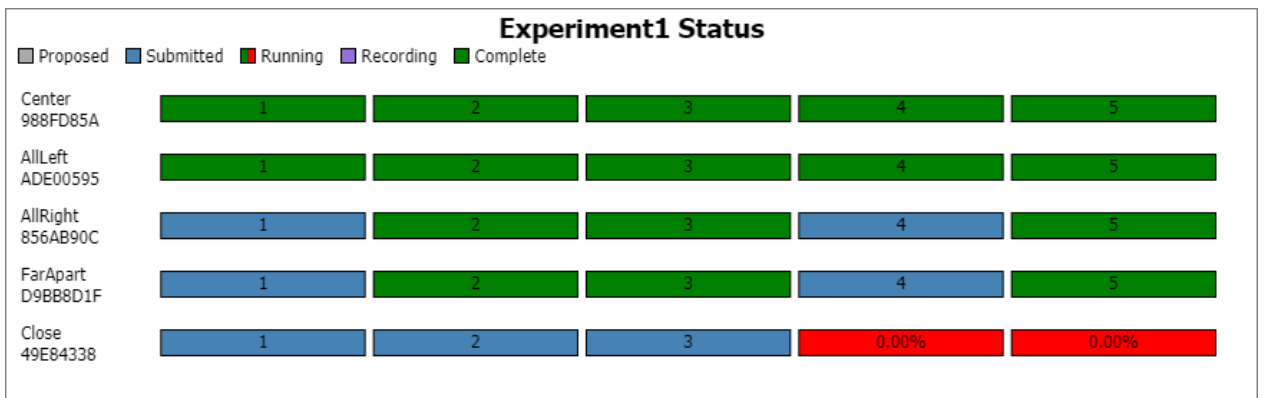


Рис. 6.6. Діаграма статусу виконання Experiment1

Після завершення експерименту натисніть кнопку View Results. Відкриється вікно з даними про показники ефективності за сценаріями. Доступні опції відображення: Replications Plot для вивчення кореляцій між кількома показниками продуктивності), Frequency Histogram, Correlation Plot, Data Summary та Raw Data.

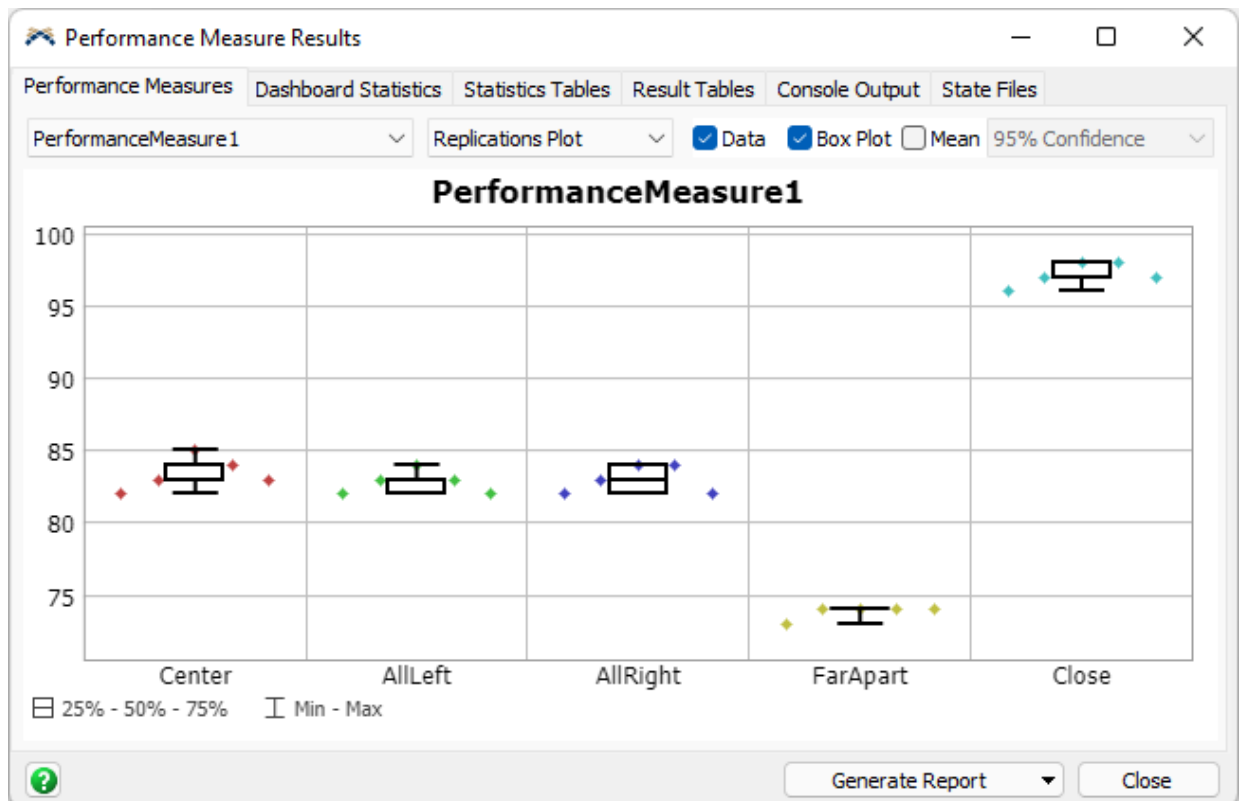


Рис. 6.7. Вікно результатів Performance Measure Results

Якщо мета полягає в максимізації пропускної здатності, то сценарій «Close» є найкращим варіантом.

Загальні вказівки до виконання практичної роботи

1. Ознайомитися з принципами параметричного моделювання у FlexSim: поняттям параметра моделі, показника ефективності та завдання експерименту.

2. Побудувати 3D-модель складської системи відповідно до схеми (Source → Processor1 → Processor2 → Sink з підключеним Operator через Dispatcher).
3. Налаштувати два параметри (Parameter1, Parameter2) у таблиці параметрів моделі, прив'язавши їх до координати X відповідних процесорів.
4. Створити показник ефективності PerformanceMeasure1, прив'язавши його до статистики Input об'єкта Sink1.
5. Налаштувати 5 сценаріїв у завданні Experiment1 та виконати експеримент із 5 репліками на кожен сценарій.
6. Проаналізувати результати у вікні Performance Measure Results, визначити найкращий сценарій.
7. Оформити та захистити звіт зі скріншотами налаштувань і результатів.

Контрольні запитання

1. Що таке параметр моделі у FlexSim і яку роль він відіграє при проведенні експерименту?
2. Що таке показник ефективності (Performance Measure) та яким чином він пов'язується з об'єктами моделі?
3. Що таке сценарій у завданні експерименту та що означає поняття «репліка»?
4. Яке призначення параметрів Lower Bound та Upper Bound при налаштуванні параметра моделі?
5. Яку функцію виконує властивість Use Transport та як вона пов'язує фіксований ресурс із виконавцем завдань?
6. Як інтерпретувати діаграму Replications Plot у вікні результатів? Який сценарій відповідає максимальній пропускній здатності системи?
7. Чому сценарій «Close» забезпечує найвищу пропускну здатність? Поясніть з точки зору розташування процесорів і переміщення оператора.

ПРАКТИЧНА РОБОТА №7

ЗАВДАННЯ З ОПТИМІЗАЦІЇ. АНАЛІЗ ДАНИХ

Мета роботи: набуття практичних навичок проектування та виконання завдань з оптимізації складських процесів у програмному середовищі FlexSim із використанням оптимізатора OptQuest, а також аналізу й інтерпретації отриманих результатів моделювання.

Програмний продукт: *FlexSim (версія не нижче 21.0, ліцензія з підтримкою OptQuest).*

Короткі відомості

Експериментатор дозволяє визначити завдання оптимізації. На відміну від експерименту, який явно визначає сценарії, завдання з оптимізації автоматично створює сценарії, а потім тестує їх, намагаючись знайти сценарій, який найкраще відповідає меті. Завдання з оптимізації — це потужний інструмент, який дозволяє спробувати сотні конфігурацій автоматично, як частину пошуку найкращого цільового значення. Навіть якщо є десятки змінних зі складною взаємодією, оптимізація все одно може знайти дуже хороші сценарії за короткий проміжок часу.

Усі завдання оптимізації використовують оптимізатор FlexSim, яким керує механізм оптимізації OptQuest (для використання оптимізатора потрібна ліцензія OptQuest).

Крок 1. Додавання завдання з оптимізації

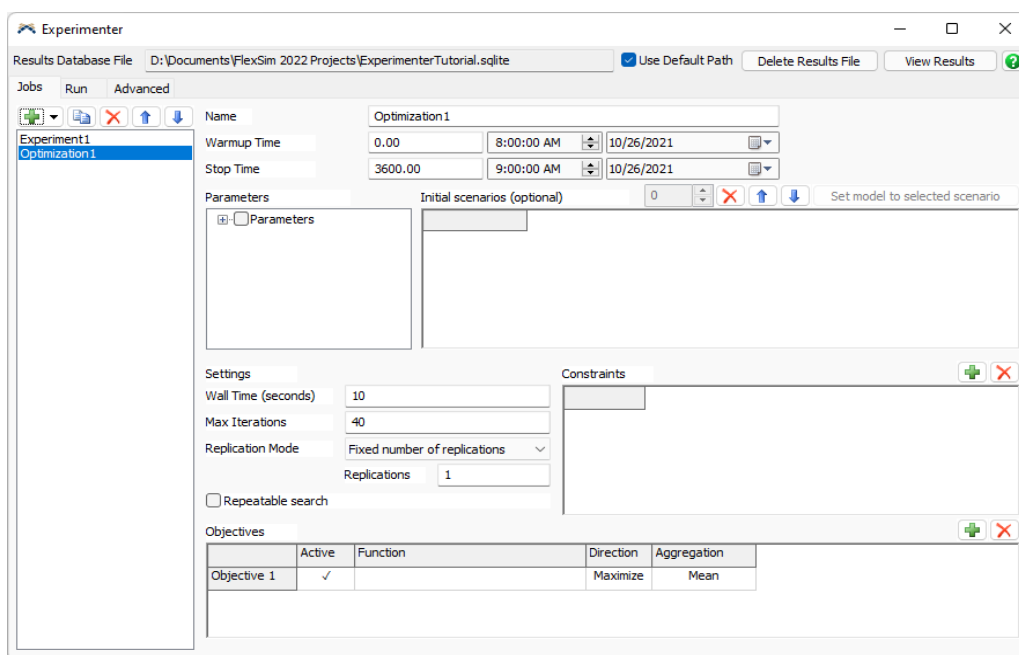


Рис. 7.1. Порожнє завдання оптимізації у вікні Experimenter

1. Перейдіть до розділу Jobs tab у вікні Experimenter.

2. Клацніть піктограму Add button у верхньому лівому куті та виберіть Optimization з меню.

Крок 2. Проектування завдання з оптимізації

1. Встановіть параметр Stop Time значення 10000. Цей параметр визначає тривалість запуску кожного сценарію оптимізатором для його оцінки.
2. Встановіть параметр Wall Time значення 0. Цей параметр зазвичай обмежує тривалість роботи оптимізатора в режимі реального часу. Значення 0 означає відсутність обмеження часу.
3. Поставте галочку у верхньому полі дерева Parameters, що активує обидва параметри.
4. Встановіть Max Iterations значення 50. Це означає, що оптимізатор спробує не більше 50 різних сценаріїв у пошуку оптимального.
5. Натисніть на клітинку Function для першої мети.
6. Натисніть на кнопку зі стрілкою вниз, що з'явиться.
7. Вкажіть на Performance Measures, а потім виберіть PerformanceMeasure1.

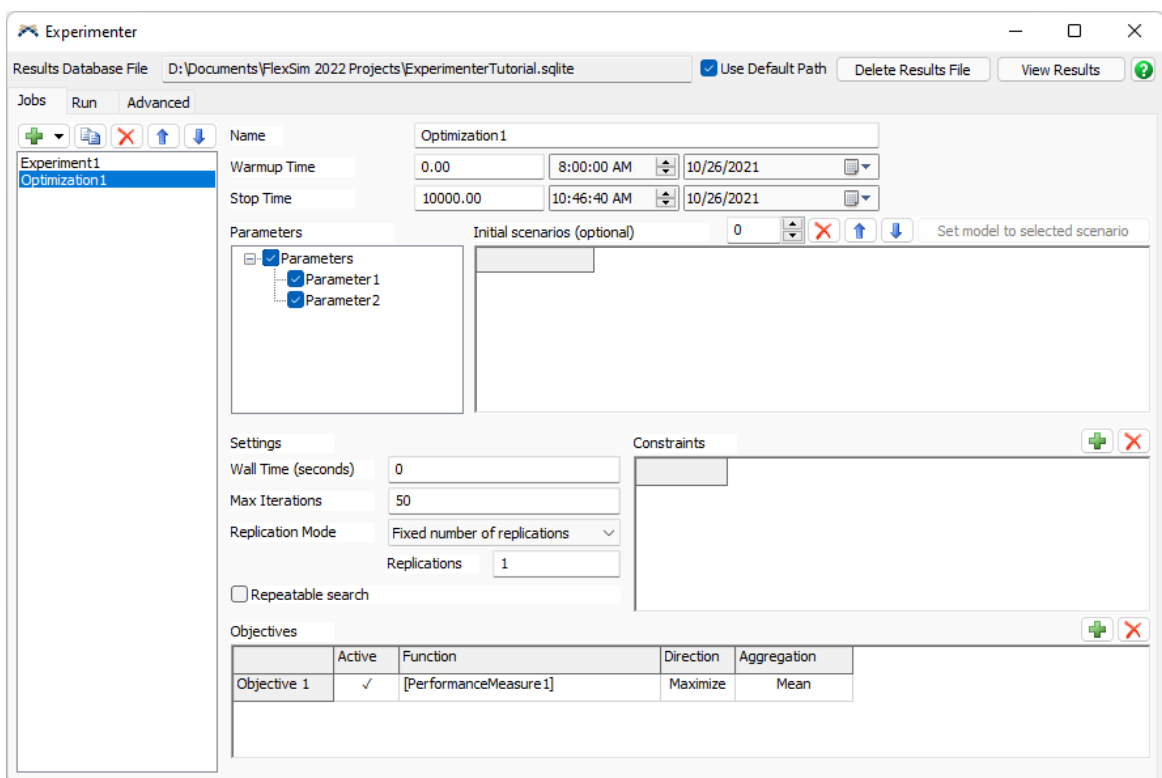


Рис. 7.2. Налаштування цільової функції завдання оптимізації

Крок 3. Виконання завдання з оптимізації

1. Перейдіть на вкладку Run у вікні Experimenter. За допомогою кнопки Job у списку виберіть завдання оптимізації та клацніть піктограму Run.

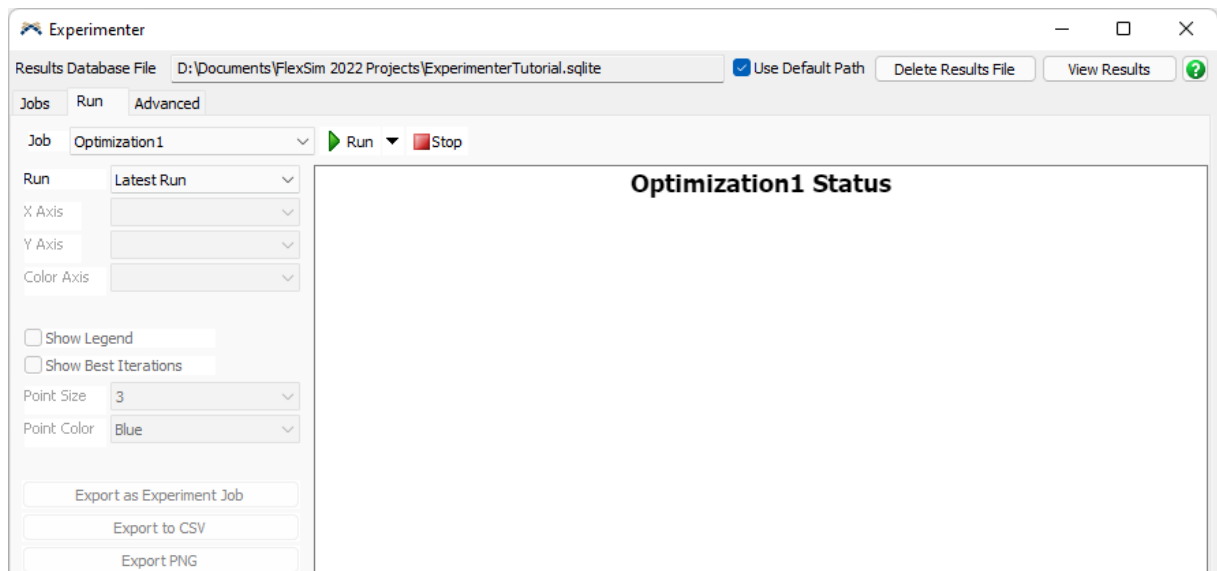


Рис. 7.3. Запуск завдання оптимізації на вкладці Run

2. Після запуску завдання оптимізації починає проходити через такий цикл:

- генерується значення для Parameter1 та Parameter2 (кожна генерація називається ітерацією);
- модель запускається з цими значеннями протягом 10 000 секунд;
- оцінюються показники ефективності та обчислюється цільова функція;
- на основі отриманих даних створюється новий сценарій з новими значеннями Parameter1 та Parameter2;
- цикл повторюється з кроку 2.

Оптимізація може виконувати багато одночасних ітерацій, якщо доступно більше одного процесора.

3. Діаграма статусу оновлюватиметься та показуватиме прогрес виконання оптимізації.
4. Коли оптимізатор оцінить 50 сценаріїв, з'явиться повідомлення про причину зупинки. У цьому випадку буде вказано, що досягнуто максимальну кількість ітерацій.

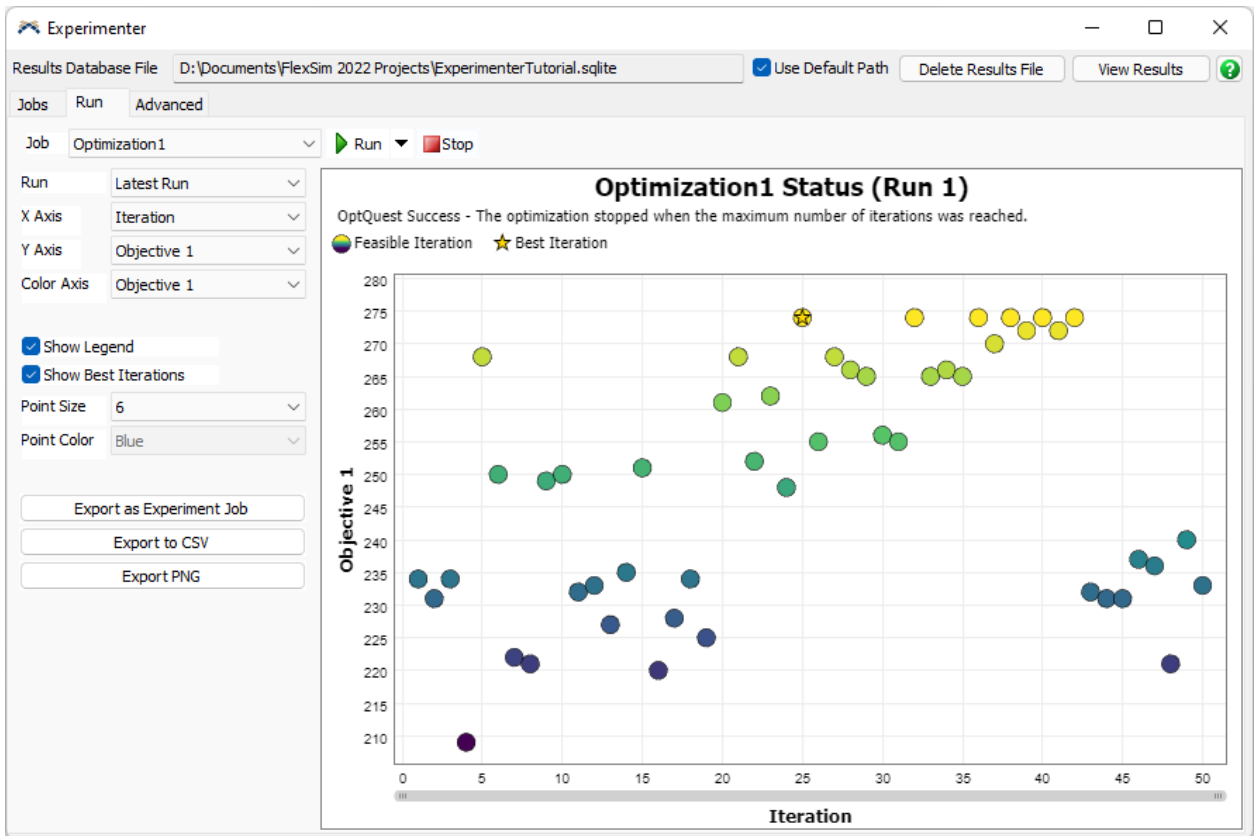


Рис. 7.4. Діаграма статусу прогресу оптимізації

Крок 4. Аналіз результатів

Коли оптимізацію завершено, діаграма результатів оптимізатора матиме такий вигляд:

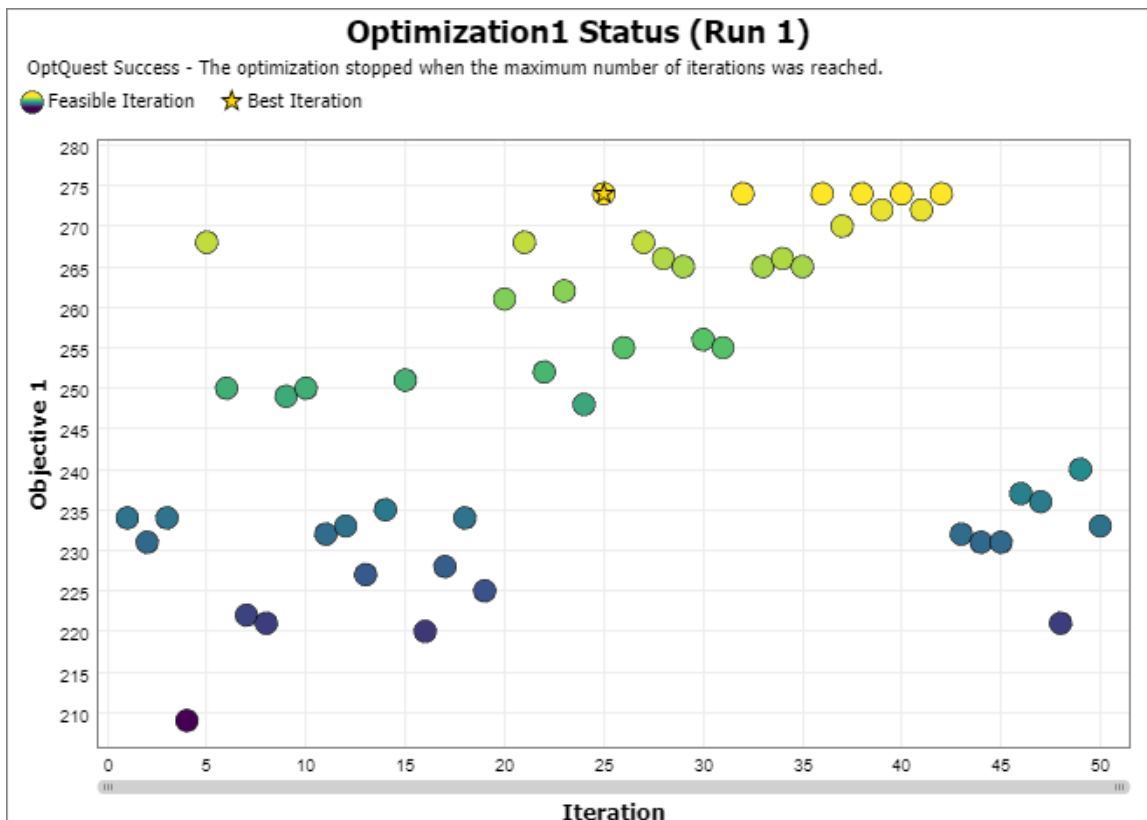


Рис. 7.5. Діаграма результатів оптимізатора (золота зірка – найкращий сценарій)

Найкращий сценарій позначений золотою зіркою. У процесі виконання оптимізатор, як правило, знаходить щораз кращі сценарії. Однак він також може перевіряти нові випадкові варіанти, щоб переконатися, що не застряг у локальному оптимумі.

Відповідь на початкове запитання

Мета цієї оптимізації полягала в тому, щоб з'ясувати, куди розмістити два процесори. Відповідь можна знайти таким чином:

1. Наведіть курсор на найкращий сценарій (із золотою зіркою) на графіку — з'явиться невелике спливаюче вікно.

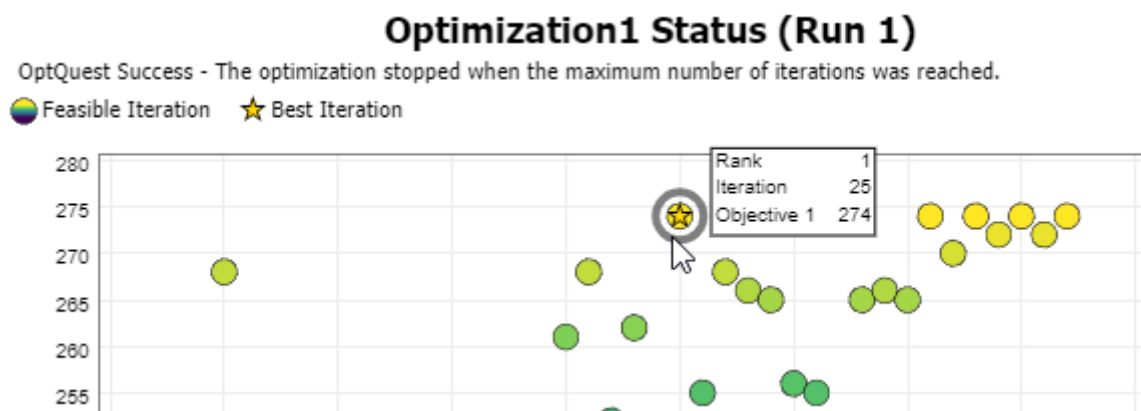


Рис. 7.6. Спливаюче вікно з параметрами найкращого сценарію

2. Натисніть на цей сценарій, щоб вибрати його. Потім у панелі Graph Options змініть вісь Y на Parameter2, а вісь X — на Parameter1.

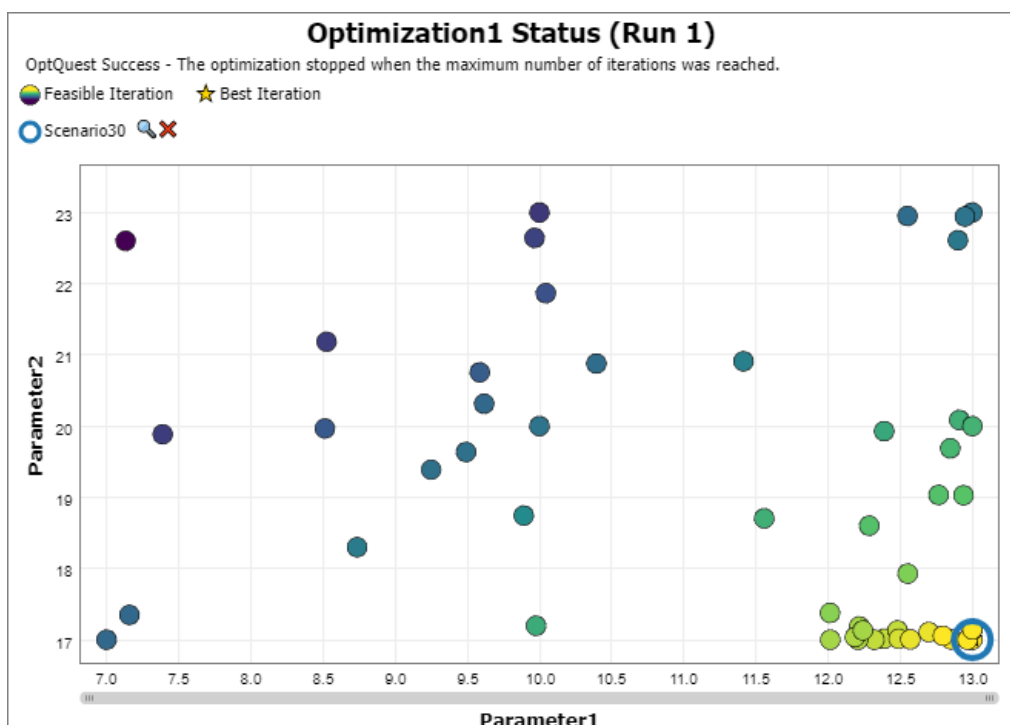


Рис. 7.7. Порівняння значень Parameter1 та Parameter2 для сценаріїв

3. Сценарії, які показали найкращі результати, мають високе значення Parameter1 та низьке значення Parameter2.

Крок 5. Оформлення та захист роботи

1. Оформити звіт про виконання практичної роботи: навести скріншоти налаштувань Experimenter, ходу оптимізації та фінальних результатів; описати знайдений оптимальний сценарій і пояснити відповідь на початкове питання задачі (розміщення двох процесорів).
2. Зберегти модель FlexSim та захистити виконану роботу, відповівши на контрольні запитання.

Контрольні запитання

1. Що таке завдання з оптимізації у FlexSim та чим воно відрізняється від звичайного експерименту?
2. Який оптимізаційний механізм використовується у FlexSim та яка ліцензія потрібна для його роботи?
3. Що означає параметр Stop Time у налаштуваннях завдання оптимізації і яким чином він впливає на результати?
4. Яке призначення параметра Wall Time та що означає значення 0 для цього параметра?
5. Що таке ітерація в контексті оптимізаційного завдання FlexSim? Опишіть цикл, який проходить оптимізатор під час кожної ітерації.
6. Що позначає золота зірка на діаграмі результатів оптимізатора та як знайти значення параметрів найкращого сценарію?
7. Поясніть поняття «локальний оптимум». Яким чином оптимізатор FlexSim намагається уникнути потрапляння до локального оптимуму?

ПРАКТИЧНА РОБОТА №8 МОДЕЛЮВАННЯ СКЛАДУ У FLEXSIM

Мета роботи: набуття практичних навичок створення та налаштування базової моделі складу у середовищі FlexSim: побудова матеріального потоку з двома стійками зберігання, конвеєрними системами, автоматизованою системою складування й вилучення (ASRS) та палетизатором, а також аналіз результатів моделювання за допомогою інформаційних панелей.

Програмний продукт: *FlexSim (версія не нижче 21.0).*

Короткі відомості

Ця практична робота містить детальну покрокову інструкцію зі створення базової моделі складу у середовищі симуляції FlexSim. Метою проекту є відтворення спрощеного процесу складування, що включає дві стійки (Racks) для зберігання, системи вхідних та вихідних конвеєрів, а також палетизатор для підготовки вантажів до відправки.

Загальна схема матеріального потоку моделі складу має такий вигляд: вхідне відвантаження → вхідний буфер → вхідні конвеєри → зона складування біля стійок → стійки та система ASRS → зона вихідного складування → вихідні конвеєри → палетизатор → вихідне відвантаження.

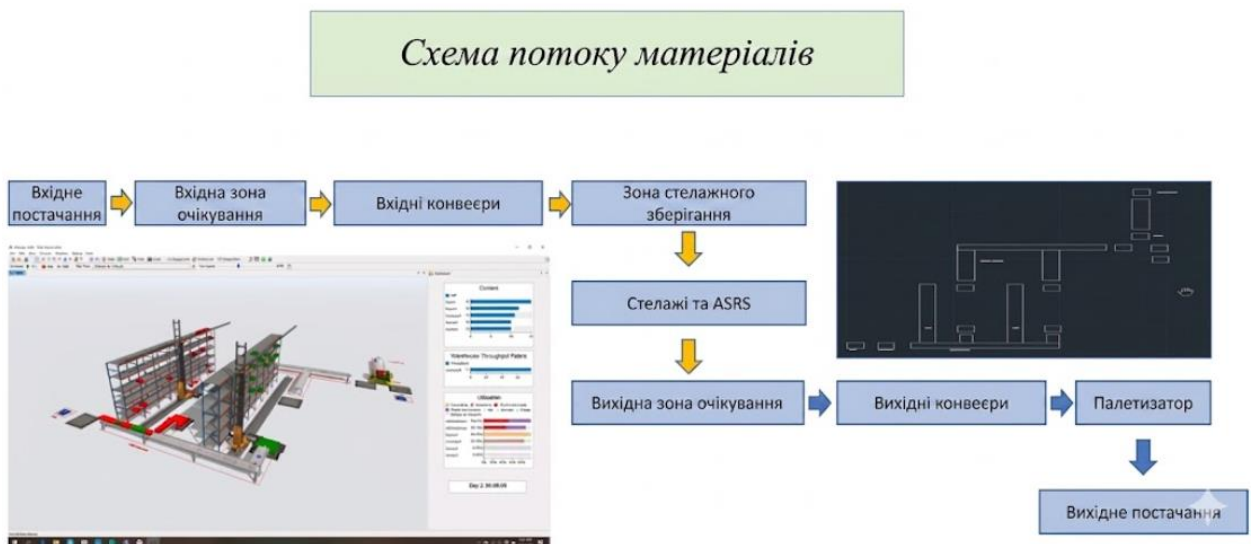


Рис. 8. Схема матеріального потоку моделі складу (Material Flow Diagram)

Крок 1. Підготовка моделі

1. Створення нового проекту: розпочніть зі створення нової моделі.
2. Налаштування одиниць виміру:
 - Встановіть одиницю часу (Time unit) на хвилини.

— Встановіть одиницю довжини (Length unit) на метри.

3. Імпорт плану (за бажанням): щоб додати візуальний фон, натисніть кнопку Background та додайте новий фон моделі (якщо доступний 2D CAD макет складу).

Крок 2. Створення 3D-об'єктів

Перетягніть необхідні об'єкти з бібліотеки FlexSim для відтворення послідовності матеріального потоку:

1. Початок потоку: додайте об'єкт Source (Джерело) для представлення зони вхідного відвантаження (inbound shipment area), куди прибувають предмети.
2. Вхідний буфер: додайте об'єкт Queue (Черга), який слугуватиме вхідним буфером або зоною тимчасового зберігання (staging area). Переіменуйте його на inbound buffer.
3. Конвеєрні системи: перейдіть до модуля conveyor у бібліотеці та виберіть Normal Roller Conveyor.
 - Додайте сегменти для вхідної та вихідної конвеєрних систем.
 - Налаштуйте розмір, перетягуючи червоні маркери-стрілки.
 - Переконайтеся, що напрямок потоку, позначений жовтими стрілками, є правильним. За потреби використовуйте кнопку реверсу (reversing button).
4. Сховище: додайте дві стійки (Racks) із бібліотеки складування (warehousing library).
5. Система ASRS: додайте два транспортні засоби ASRS (Automated Storage and Retrieval System) для обробки матеріалів.
 - Налаштуйте розміри ASRS, перетягуючи відповідні осі, щоб вони відповідали структурі стійок.
 - Розмістіть перший ASRS біля Стійки 1, а другий — біля Стійки 2.
6. Зони складування (Staging Areas): використовуйте об'єкти Queue для представлення зони складування біля стійок (rack staging area) та зони вихідного складування (outbound staging area).
7. Палетизатор: для процесу палетизації використовуйте об'єкт Combiner.
8. Кінець потоку: додайте об'єкт Sink (Синхронізатор) для представлення кінцевої зони вихідного відвантаження, де предмети залишають систему.

Крок 3. Налаштування властивостей та логіки

Налаштуйте логіку для об'єктів, щоб забезпечити точну поведінку симуляції.

А. Налаштування Джерела (Source) та типів предметів

1. Час прибуття: у властивостях Source встановіть arrival style на enter arrival time.
2. Інтервал: встановіть постійний час прибуття на 3 хвилини.
3. Створення мітки (Label): створіть мітку, оскільки ця модель вимагає два типи предметів (кожна стійка призначена для одного типу):
 - Використовуйте функцію Triggers (Тригери) (наприклад, on creation або on exit).
 - У полі даних тригерів виберіть опцію set label and color.
 - Назвіть мітку type.
 - Призначте їй значення 1 або 2, використовуючи дискретний рівномірний розподіл: Duniform(1, 2). Це гарантує, що кожному предмету випадково присвоюється один із двох типів.

Б. Налаштування Стійок (Racks)

1. Орієнтація: переконайтеся, що «P face» (виділена помаранчевим для вилучення) стійки спрямована до ASRS.
2. Стратегія слотів: встановіть стратегію призначення слотів на random a level and Slot with Space для автоматичного призначення слотів.
3. Властивості потоку: увімкніть опцію flow, щоб визначити стійку як фіксований ресурс, що приймає та випускає предмети.
4. Максимальний вміст (Max content): встановіть максимальну кількість предметів.
5. Мінімальний час перебування (Minimum dwell time): встановіть мінімальний час, протягом якого предмет має залишатися у стійці, перш ніж його можна буде випустити. Встановіть цей час на 30 хвилин.
6. Транспортування: увімкніть опцію use transport на панелі виведення (output panel) та призначте відповідний транспортний засіб ASRS за допомогою інструмента sampler.
7. Повторіть ці кроки для Стійки 2.

V. Налаштування Палетизатора (Combiner)

Палетизатор вимагає двох вхідних портів: для порожніх палет та для предметів, що палетуються.

1. Джерело палет (Вхід 1):
 - Створіть новий об'єкт Source.
 - Встановіть flow item class на pallet.
 - Встановіть inter arrival time на 0 (припускаючи нескінченний запас палет без затримок).
 - Підключіть цей Source до Queue (буфера).
 - Встановіть Max content цього буфера на 1 (утримуватиме лише одну палету одночасно).
 - Підключіть цю Queue до Палетизатора.
2. Конфігурація пакування (Combiner properties):
 - Встановіть combine mode на rack.
 - Встановіть target quantity на 4 (кількість предметів, необхідних для формування однієї палети).
 - Встановіть processing time (час пакування) на 0.5 хвилини.

Крок IV. З'єднання та маршрутизація потоків

Використовуйте A-з'єднання для з'єднання об'єктів.

1. Source → Inbound Buffer.
2. Inbound Buffer → Вхідний конвеєр.
3. Налаштування маршрутизації на конвеєрах (Decision Points):
 - Перетягніть Decision Points (DPs) з бібліотеки.
 - Розмістіть один DP перед розгалуженням конвеєра та ще два (DP2 та DP3) біля сегментів, що ведуть до стійок (Стойка 1 та Стойка 2).
 - На першому DP налаштуйте тригер On Arrival.
 - Виберіть send item by case (відправити предмет за випадком), використовуючи мітку type (item.type).
 - Випадок 1: якщо item.type дорівнює 1, маршрутизуйте предмет до DP2 (веде до Стойки 1).
 - Випадок 2: якщо item.type дорівнює 2, маршрутизуйте предмет до DP3 (веде до Стойки 2).
4. Конвеєри → Зони складування біля стійок (Queues).
5. Зони складування → Стойки (з ASRS):
 - Підключіть зони складування до відповідних стійок.

— У налаштуваннях виведення (output settings) кожної зони складування (Queue) увімкніть use transport.

— Використовуйте інструмент sampler для посилення на відповідний транспортний засіб ASRS.

6. Стійки → Зони вихідного складування (Outbound Staging Areas).

7. Зони вихідного складування → Вихідні конвеєри.

8. Вихідний конвеєр → Вхід для предметів Палетизатора (Вхід 2).

9. Вихід Палетизатора → Останній сегмент вихідного конвеєра.

10. Останній сегмент конвеєра → Sink.

Крок 5. Запуск та аналіз

Після завершення всіх з'єднань та налаштувань властивостей можна запускати модель.

1. Запуск симуляції: натисніть Reset (Скинути), а потім Run (Запустити).

— Спостерігайте: предмети Типу 1 прямують до Стійки 1, Типу 2

— до Стійки 2, ASRS керує рухом матеріалів, а палетизатор функціонує згідно з конфігурацією.

2. Створення інформаційних панелей (Dashboards): натисніть кнопку dashboard.

3. Гістограма вмісту (Content Bar Chart):

— Перетягніть content bar graph.

— Використовуйте sampler або значок плюс, щоб прикріпити об'єкти, які ви хочете контролювати (наприклад, буфери, стійки).

4. Графік пропускної спроможності (Throughput Graph):

— Використовуйте шаблон output dashboard temp.

— Підключіть останні сегменти конвеєра до поля об'єкта (object field).

— Перейменуйте назву на «Warehouse throughput pallets».

5. Графік завантаження (Utilization Graph):

— Перетягніть state graph.

— Прикріпіть його до машин ASRS, щоб відстежувати їхній стан.

6. Відображення часу: додайте date and time display, щоб показувати прогрес часу симуляції.

7. Повторний запуск: скиньте (Reset) та знову запустіть (Run) модель, щоб інформаційні панелі оновлювалися в реальному часі та відображали статистику моделі.

Загальні вказівки до виконання практичної роботи

1. Ознайомитися з компонентами складської системи у FlexSim: Source, Queue, Conveyor, Rack, ASRS, Combiner, Decision Point та принципами їх взаємодії у матеріальному потоці.
2. Створити новий проект, налаштувати одиниці виміру (хвилини, метри) та за бажанням імпортувати фоновий план складу.
3. Побудувати 3D-модель складу: розмістити Source, вхідний буфер, конвеєрні системи, дві стійки з ASRS, зони складування, палетизатор та Sink відповідно до схеми матеріального потоку.
4. Налаштувати логіку Source (час прибуття, мітку type з розподілом Duniform(1,2)), властивості стійок (стратегія слотів, max content, мінімальний час перебування, use transport) та палетизатора (combine mode, target quantity, processing time).
5. Виконати з'єднання та маршрутизацію потоків за допомогою А-з'єднань і Decision Points з логікою send item by case за міткою item.type.
6. Запустити модель, створити інформаційні панелі (Content Bar Chart, Throughput Graph, Utilization Graph, відображення часу) для аналізу результатів.
7. Оформити та захистити звіт зі скріншотами побудованої моделі, налаштувань ключових об'єктів та інформаційних панелей.

Контрольні запитання

1. З яких основних об'єктів складається модель складу у цій практичній роботі та яку функцію виконує кожен з них (Source, Queue, Rack, ASRS, Combiner, Sink)?
2. Яке призначення мітки type та чому для її призначення використовується розподіл Duniform(1, 2)?
3. Що таке Decision Point (DP) і яким чином реалізується маршрутизація send item by case за міткою item.type у цій моделі?
4. Що таке ASRS та яким чином він пов'язується зі стійками і зонами складування через опцію use transport?
5. Поясніть логіку роботи Палетизатора (Combiner): призначення combine mode «rack», target quantity та processing time.
6. Які інформаційні панелі (dashboards) використовуються для аналізу моделі складу та яку інформацію надає кожна з них (Content Bar Chart, Throughput Graph, Utilization Graph)?

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

Beaverstock M., Greenwood A., Nordgren W. Applied Simulation Modeling and Analysis Using FlexSim. 5th ed. Canyon Park, UT : FlexSim Software Products, Inc., 2017. 442 p.

Greenwood A. FlexSim Simulation Software Primer. 5th ed. South Jordan, UT : FlexSim Software Products, Inc. (Autodesk), 2024. URL: https://www.flexsim.com/wp-content/uploads/2025/03/FlexSim-Software-Primer_5th-ed.pdf

FlexSim User Manual. FlexSim Software Products, Inc. URL: <https://docs.flexsim.com/en/>

Jurczyk K. A. FlexSim. Podręcznik użytkownika. Kraków : InterMarium Sp. z o.o., 2022. 639 s.

Велика О. Т., Лясковська С. Є., Смотров О. О., Бойко М. В. Імітаційне моделювання технологічного процесу виготовлення виробів у середовищі FlexSim. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2021. Т. 31, № 2. С. 108–113. URL: <https://doi.org/10.36930/40310218>

Чибіряк Я. І., Овчаренко К. В. Моделювання складальних процесів з використанням програмного забезпечення FlexSim. *Інформатика, математика, механіка* : тези доп. міжвуз. наук.-техн. конф. Суми : СумДУ, 2020. С. 181.

Бережняк І. А., Сліпенький Є. Б., Дорошук В. О., Сорока В. С. Підвищення ефективності складських процесів шляхом моделювання сервісного центру. *Вісник ЦНТУ. Серія: Технічні науки. Транспортні технології (за видами)*. Кропивницький : ЦНТУ, 2025. № 11(42)_I. URL: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.11\(42\).1.272-279](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.11(42).1.272-279)

Марчук В. Є., Григорак М. Ю., Гармаш О. М., Овдієнко О. В. Складська логістика : навчальний посібник. Київ : ОЛДІ-ПЛЮС, 2020. 256 с.

Томашевський В. М. Моделювання систем. Київ : Видавнича група ВНУ, 2005. 352 с.

Інформаційні ресурси в Інтернеті:

Офіційний сайт FlexSim. URL: <https://www.flexsim.com>

FlexSim YouTube канал. URL:

<https://www.youtube.com/user/FlexSimSoftware>

InterMarium Sp. z o.o. — офіційний дистриб'ютор FlexSim у Європі. URL:

<https://flexsim.pl/>

Logistics Management. URL: <https://www.logisticsmgmt.com>

Наукова бібліотека НУВГП. URL: <http://nuwm.edu.ua/naukova-biblioteka>