

література



Навчально-методична

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Тернопільський національний технічний  
університет імені Івана Пулюя

Кафедра автоматизації  
технологічних процесів і  
виробництв

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**  
**до лабораторної роботи № 5**  
**«Операції над об'єктами та контроль**  
**зіткнень в програмному середовищі**  
**RobotStudio»**  
з курсу «Гнучкі комп'ютеризовані системи та  
робототехніка»  
для студентів спеціальності  
151 «Автоматизація та комп'ютерно-  
інтегровані технології»

Тернопіль  
2019

«Операції над об'єктами та контроль зіткнень в програмному середовищі RobotStudio» методичні вказівки до лабораторної роботи № 5 з курсу «Гнучкі комп'ютеризовані системи та робототехніка» для студентів спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / Укл. Р.І. Михайлишин, В.Б. Савків. – Тернопіль: ТНТУ, 2019. – 34 с.

Рецензент: д.т.н., професор Стухляк П.Д.

Методичні вказівки розглянуто і схвалено на засіданні кафедри автоматизації технологічних процесів та виробництв.

Схвалено і рекомендовано до друку Науково-методичною радою факультету прикладних інформаційних технологій та електроінженерії.

## Зміст

Правила техніки безпеки .....	4
Лабораторна робота № 5. Операції над об'єктами та контроль зіткнень в програмному середовищі RobotStudio .....	5
1. Створення робочої станції у RobotStudio.....	5
2. Робочий об'єкт та контрольні точки .....	9
3. RAPID .....	20
4. Контроль зіткнень .....	24
5. Криві.....	27
6. Хід роботи.....	30
7. Порядок оформлення звіту .....	31
8. Контрольні запитання .....	31
Рекомендована література .....	31

## Правила техніки безпеки

До лабораторних робіт студенти допускаються тільки з дозволу викладача в його присутності або інженера.

При виконанні роботи студенти повинні виконувати наступні вимоги з техніки безпеки.

1. Перед початком роботи:

1.1. Привести в порядок одяг: застібнути рукави, заправити одяг так, щоб не було звисаючих кінців.

1.2. Оглянути робоче місце, впевнитися у відсутності можливих перешкод на шляху рухомих вузлів.

1.3. Переконатись у правильності і надійності під'єднання з'єднуючих кабелів.

1.4. Перевірити надійність заземлення.

2. Під час роботи:

2.1. Виконувати роботу у суворій відповідності з отриманим завданням.

2.2. Забороняється:

- залишати включене обладнання без нагляду;
- проводити самотійно ремонт обладнання;
- безконтрольно маніпулювати клавіатурою.

2.3. Не брати і не передавати через установку будь-які предмети.

2.4. Після вводу тексту керуючої програми перевірити правильність її роботи в покроковому режимі.

2.5. При виникненні в процесі роботи збоїв роботу потрібно негайно припинити.

3. Після закінчення роботи:

3.1. Виключити електрообладнання.

3.2. Привести в порядок робоче місце.

3.3. Повідомити викладачу про всі виявлені недоліки у роботі обладнання.

## Лабораторна робота № 5. Операції над об'єктами та контроль зіткнень в програмному середовищі RobotStudio

**Мета роботи:** отримання студентами навичок створення операцій над об'єктами, контрольними точками, прямолінійними та дуговими траєкторіями. Крім цього, студент здобуде навички визначення та моделювання зіткнень під час технічних операцій у програмному середовищі RobotStudio.

### 1. Створення робочої станції у RobotStudio

У цьому випадку ми будемо використовувати не тільки робота, а й стіл та заготовку. Отже, RobotStudio дозволяє імпортувати креслення CAD у більшість форматів файлів CAD. Маючи модель стола, ми можемо вставити її в середовище моделювання RobotStudio, натиснувши кнопку Import Geometry (зауважте, що геометрії повинні бути розташовані у папці C: \ Users \ xxxxxx \ Documents \ RobotStudio \ Geometry). За допомогою встановлених команд положення та обертання ми можемо розмістити стіл у просторі робочої станції (Рис. 1).

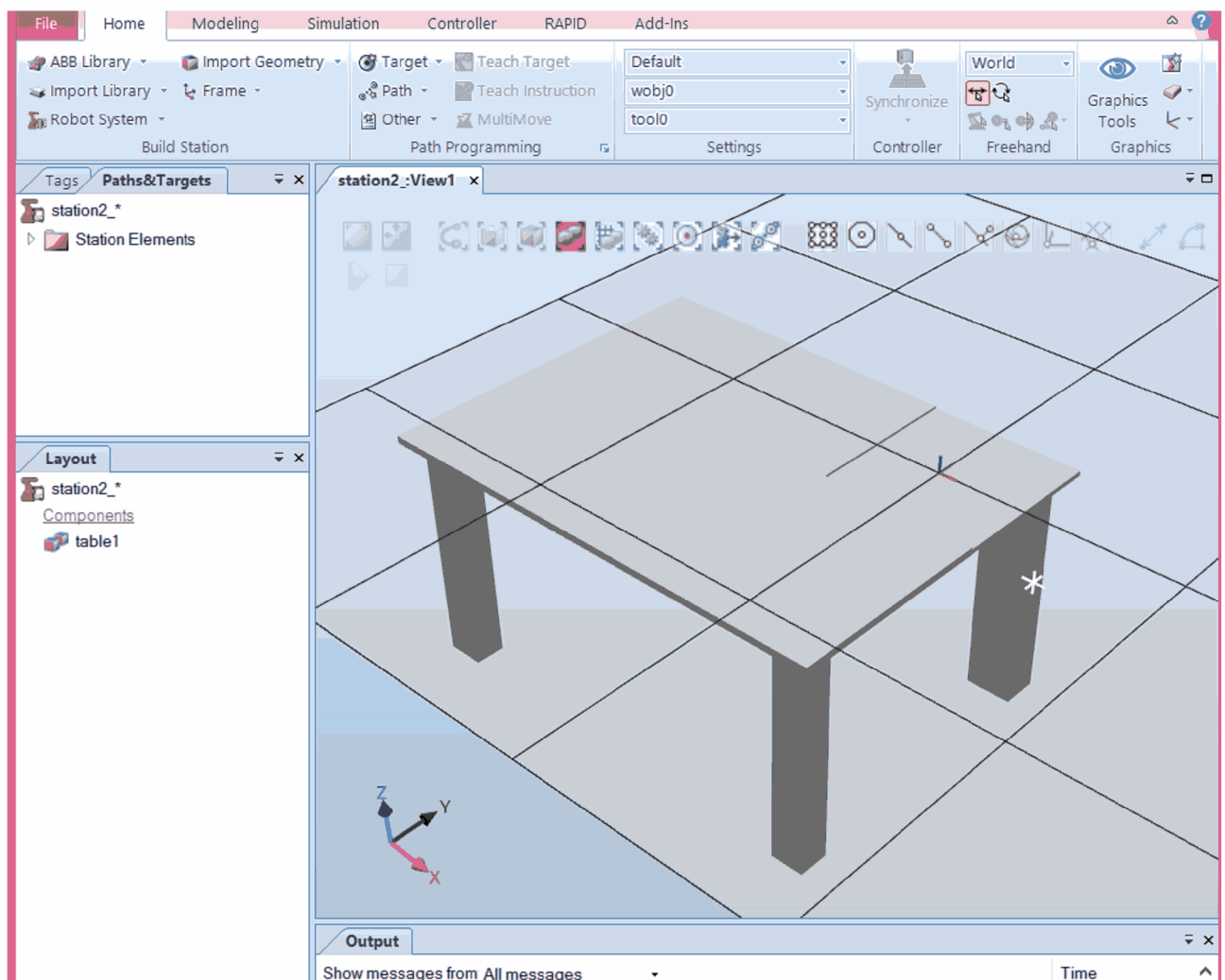


Рис. 1 Позиціонування стола на робочій станції

Добре, тепер ми можемо імпортувати та розмістити промисловий робот (Рис. 2) і заготовку (Рис. 3):

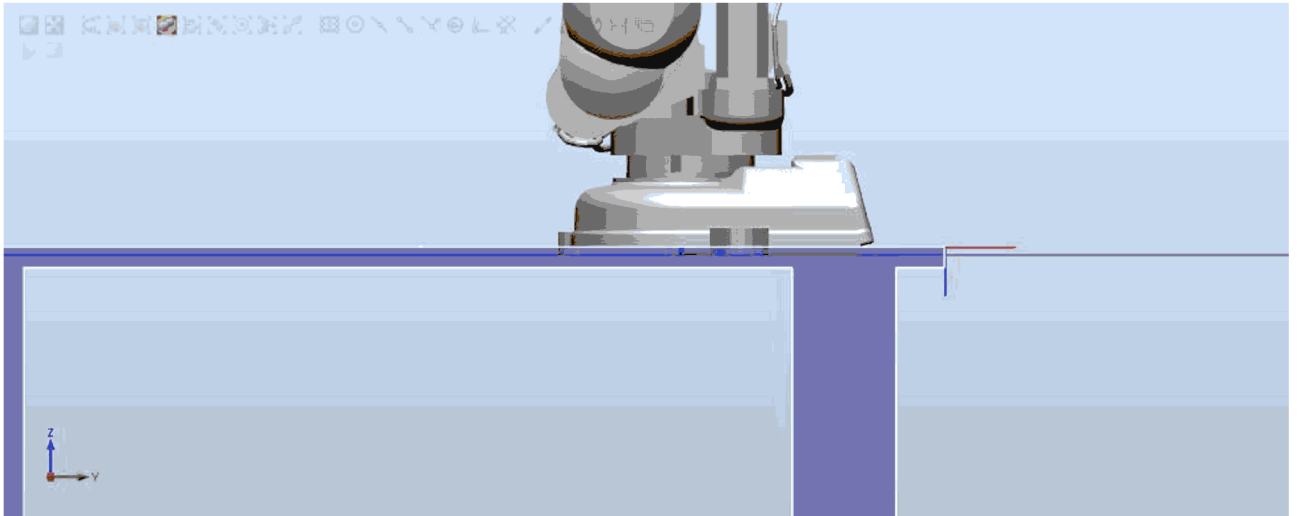


Рис. 2 Позиціонування робота на столі

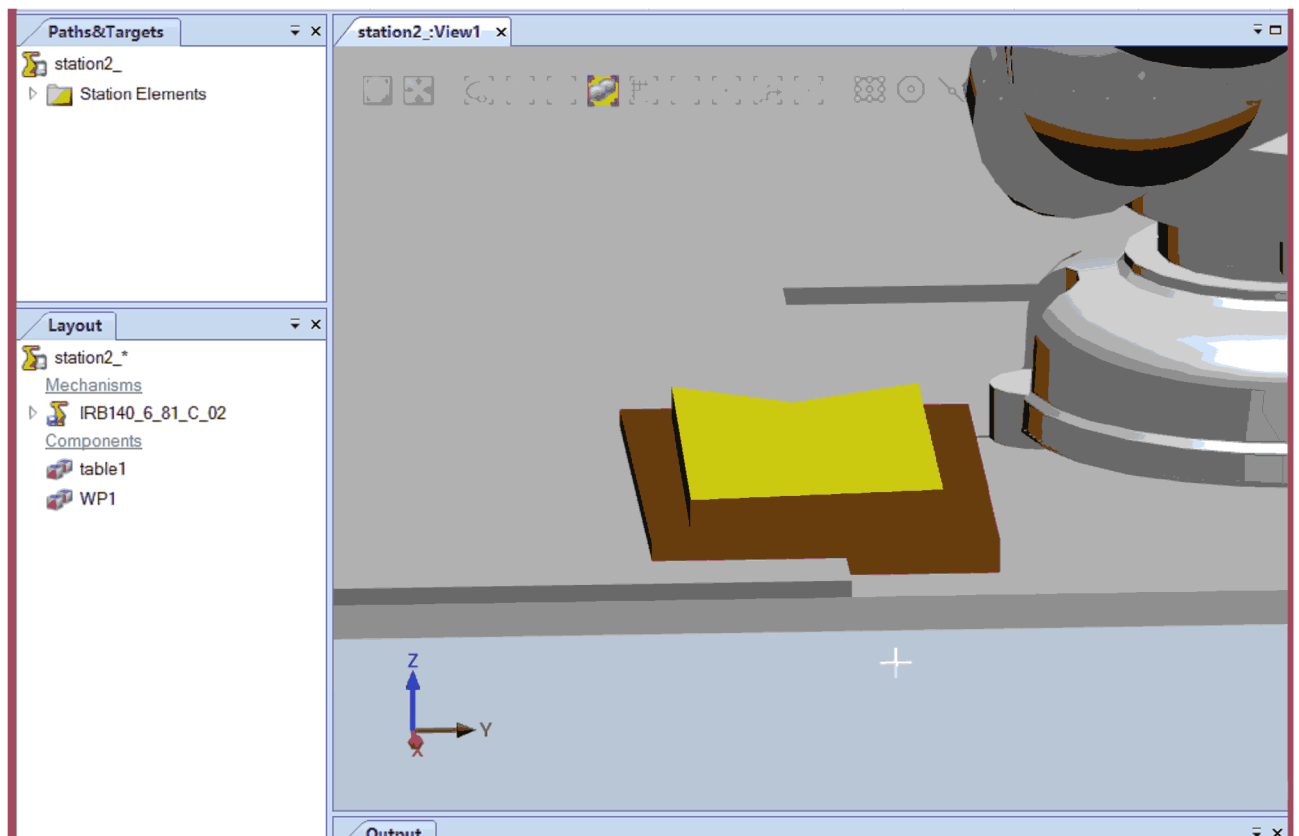


Рис. 3 Імпорт заготовки в робочий простір

Тепер ми хочемо розмістити деталь над столом. Цього можна досягти, вибравши пункти (Рис. 4):

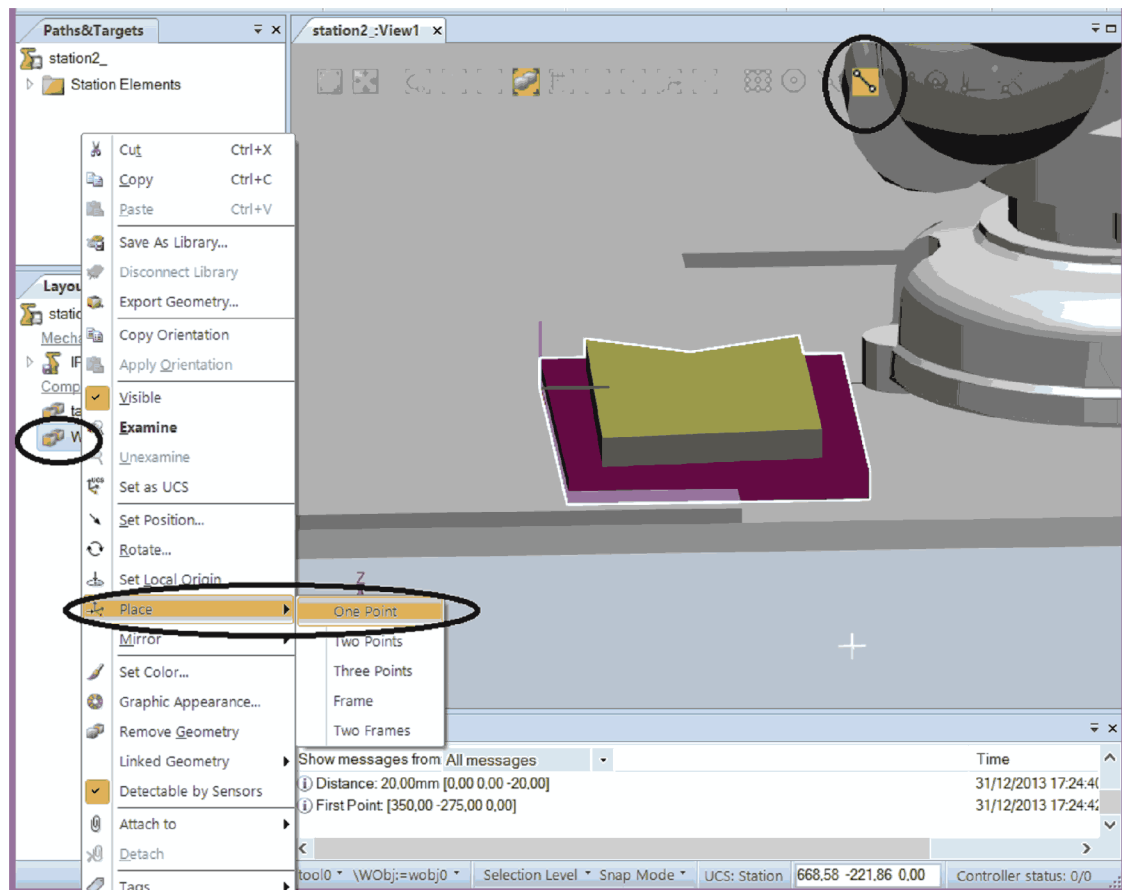


Рис. 4 Вибір позиціонування об'єкта за однією точкою

Після цього натисніть на потрібні точки (Рис. 5):

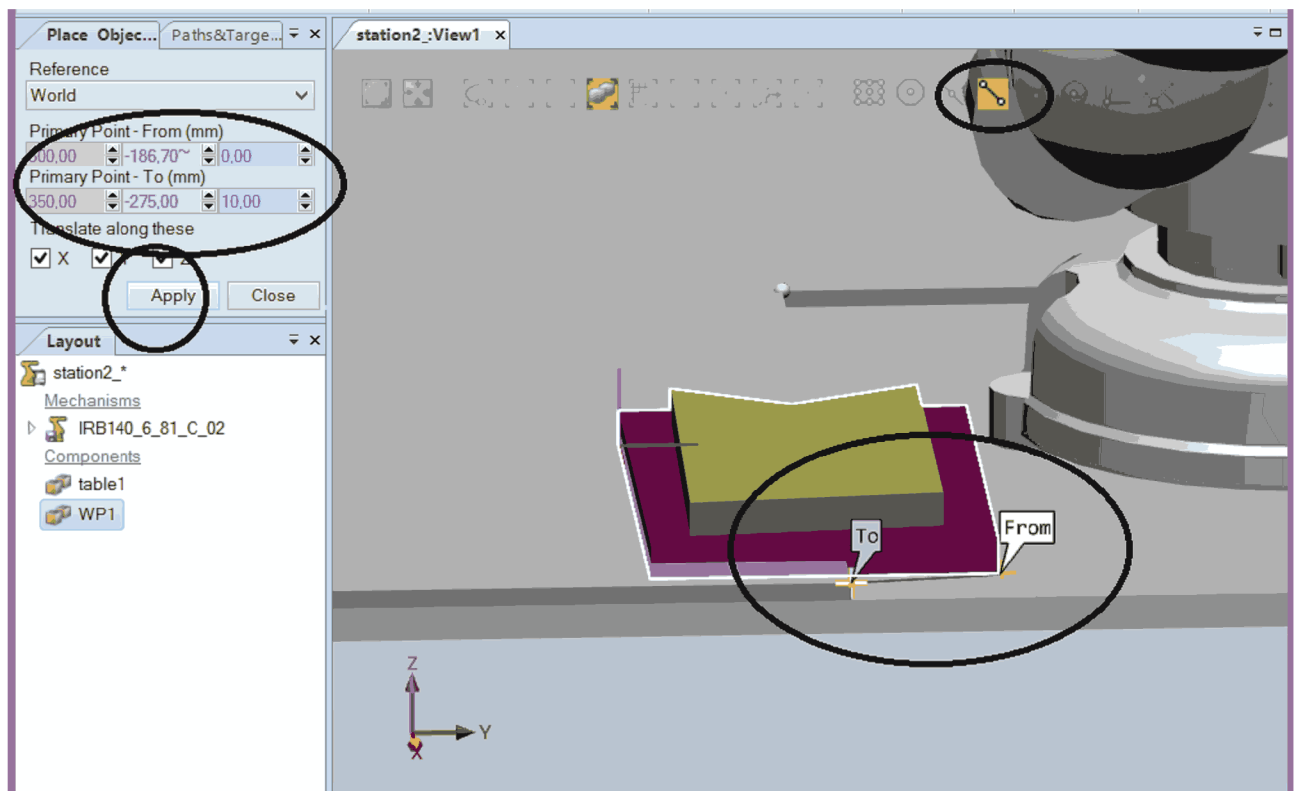


Рис. 5 Вибір початкової і кінцевої точки переміщення і її підтвердження.

Рухаючи деталь по осях  $x$  і  $y$ , ми отримуємо результат, представлений на Рис. 6:

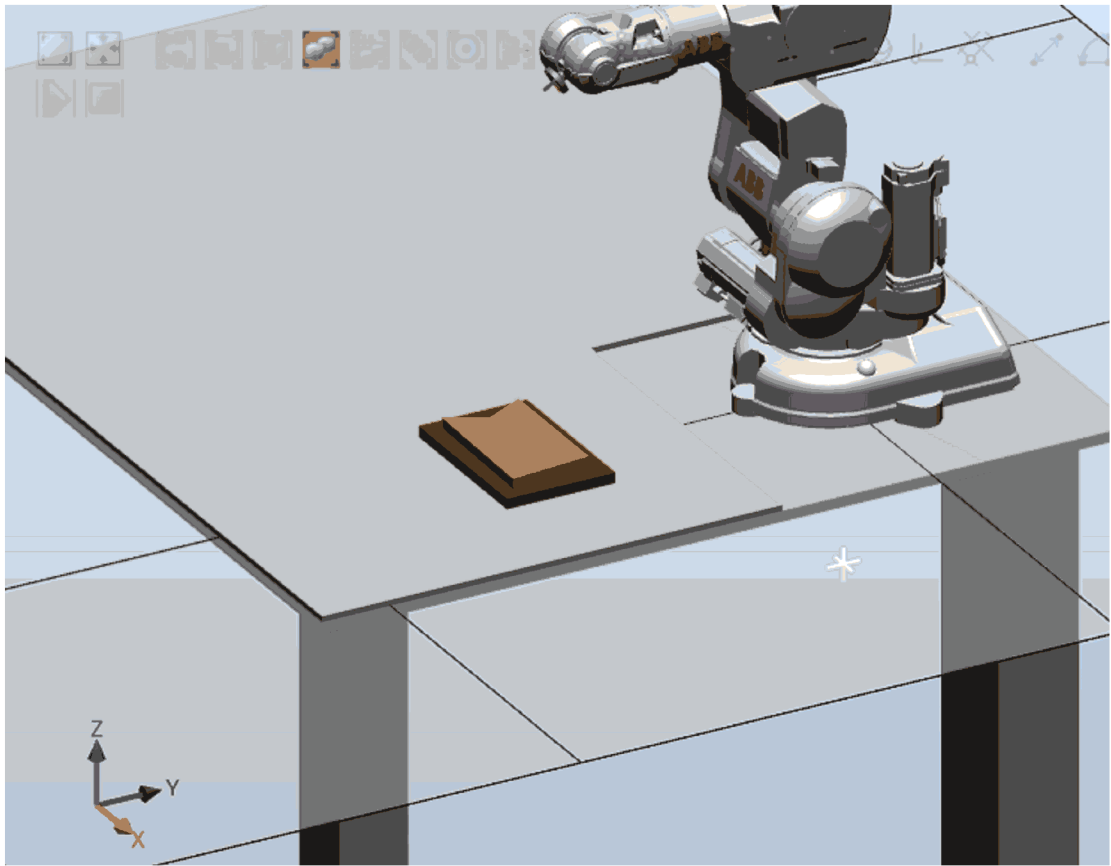


Рис. 6 Результат переміщення заготовки

Настав час імпортувати інструмент з бібліотеки і приєднати цей інструмент до кінцевого ефектора промислового робота (Рис. 7):

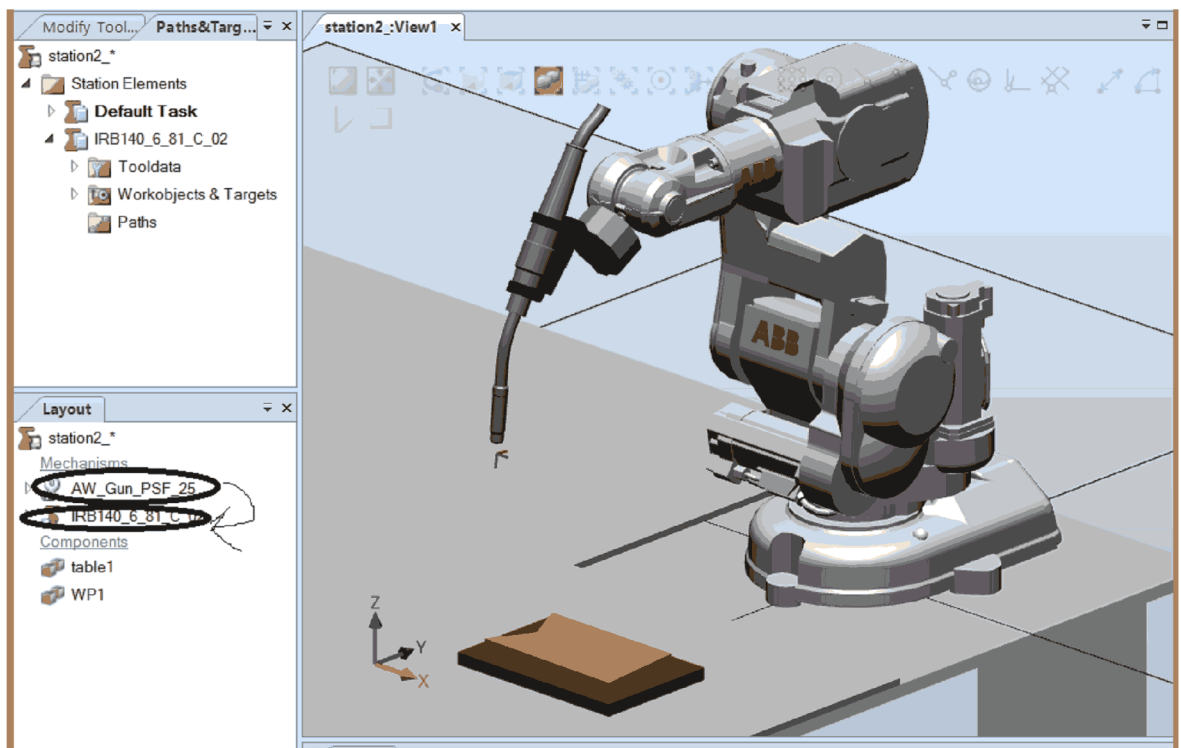


Рис. 7 Результат приєднання інструмента до промислового робота



## 2. Робочий об'єкт та контрольні точки

Створіть робочий об'єкт, вибравши його походження за допомогою миші (Рис. 8):

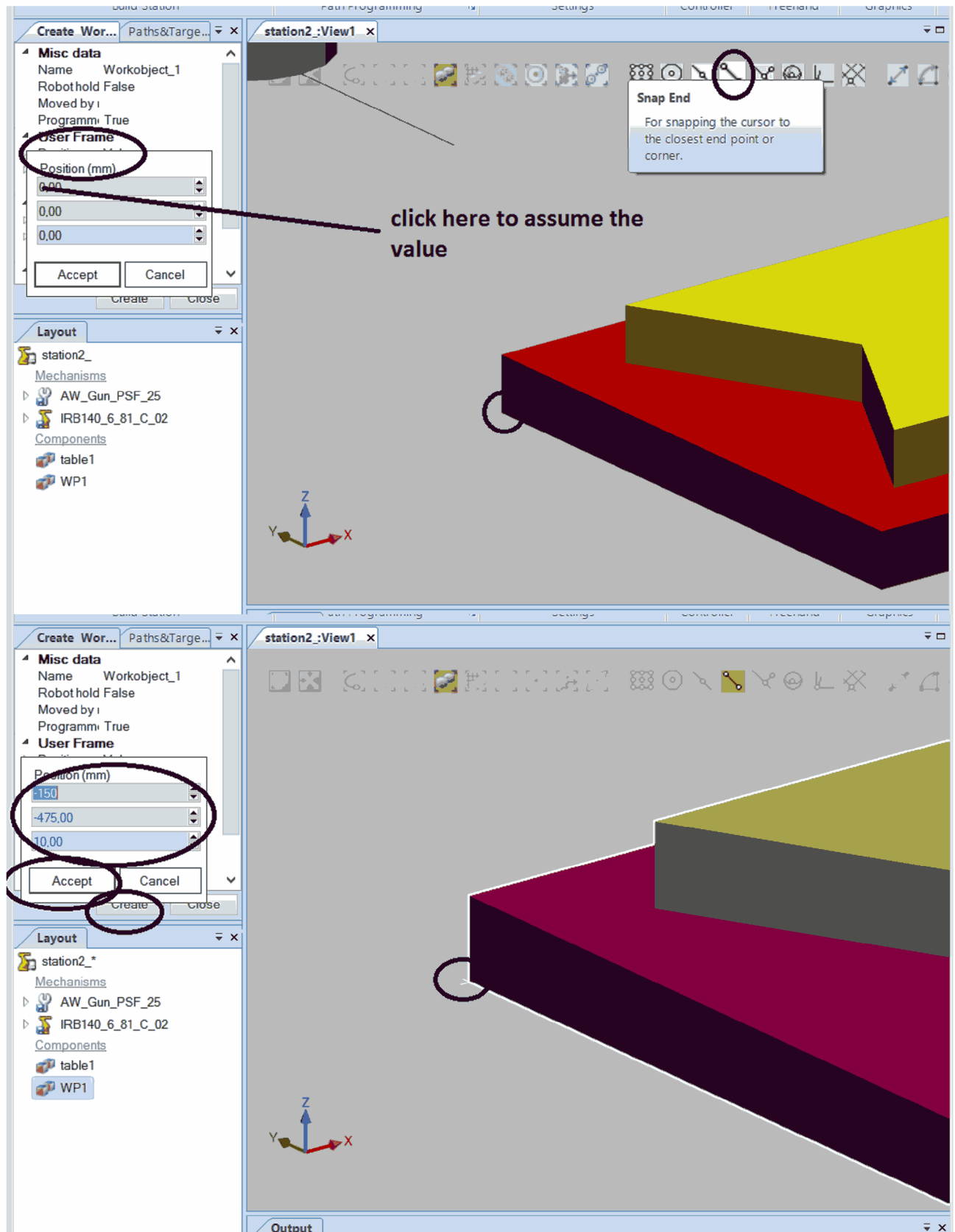


Рис. 8 Створення workobject

Створіть домашнє положення для робота, як у лабораторній роботі № 2.

Часто буває, що забувають створювати контролер-робота, тому ми повинні це зробити. Проблема полягає в тому, що в момент, коли ми створили робочий об'єкт, контролер не був визначений, ми маємо пов'язати такий робочий об'єкт з контролером. Просто перетягніть робочий об'єкт всередину меню контролера (Рис. 9) і натисніть "YES".

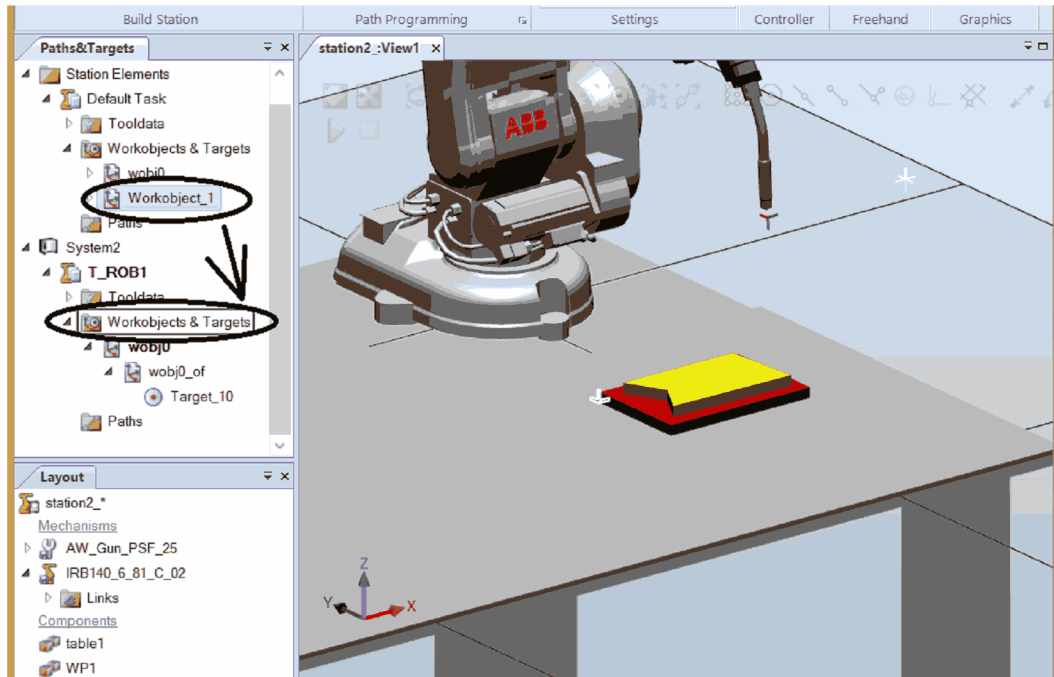


Рис. 9 Додавання робочого об'єкта до віртуального контролера

Створіть базові точки з посиланням на обробку (Рис. 10-12):

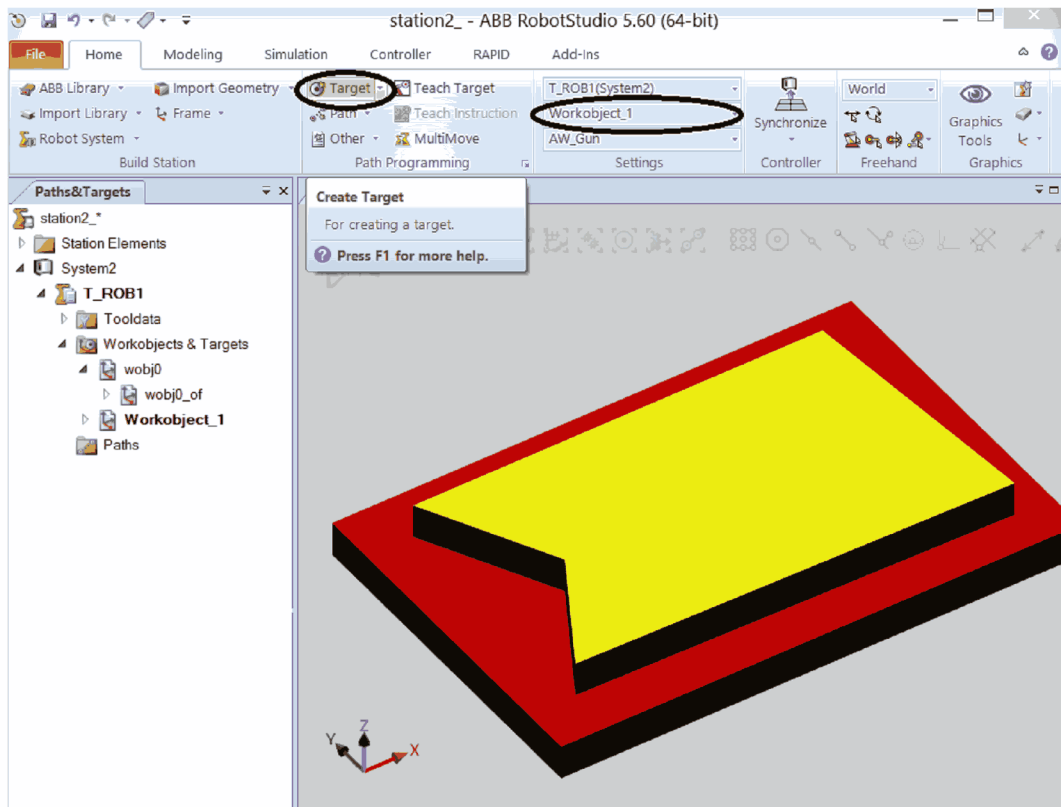


Рис. 10 Створення базових точок (частина 1)

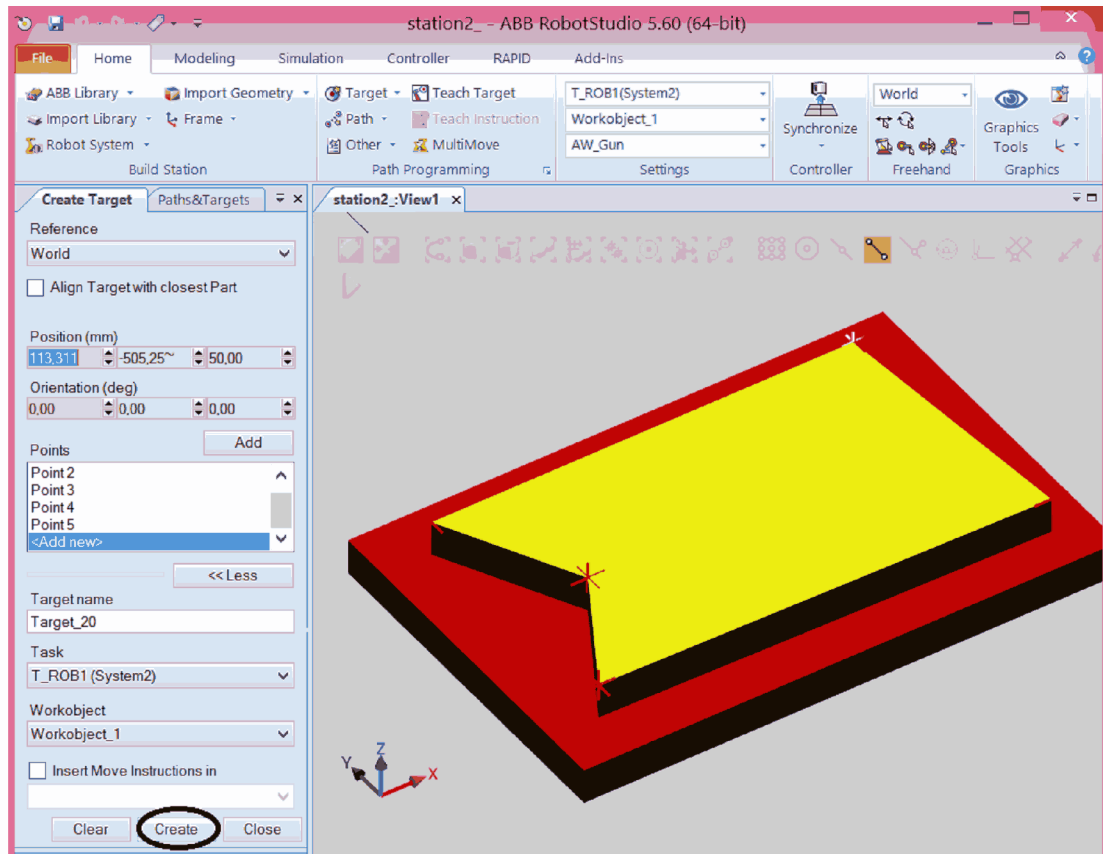


Рис. 11 Створення базових точок (частина 2)

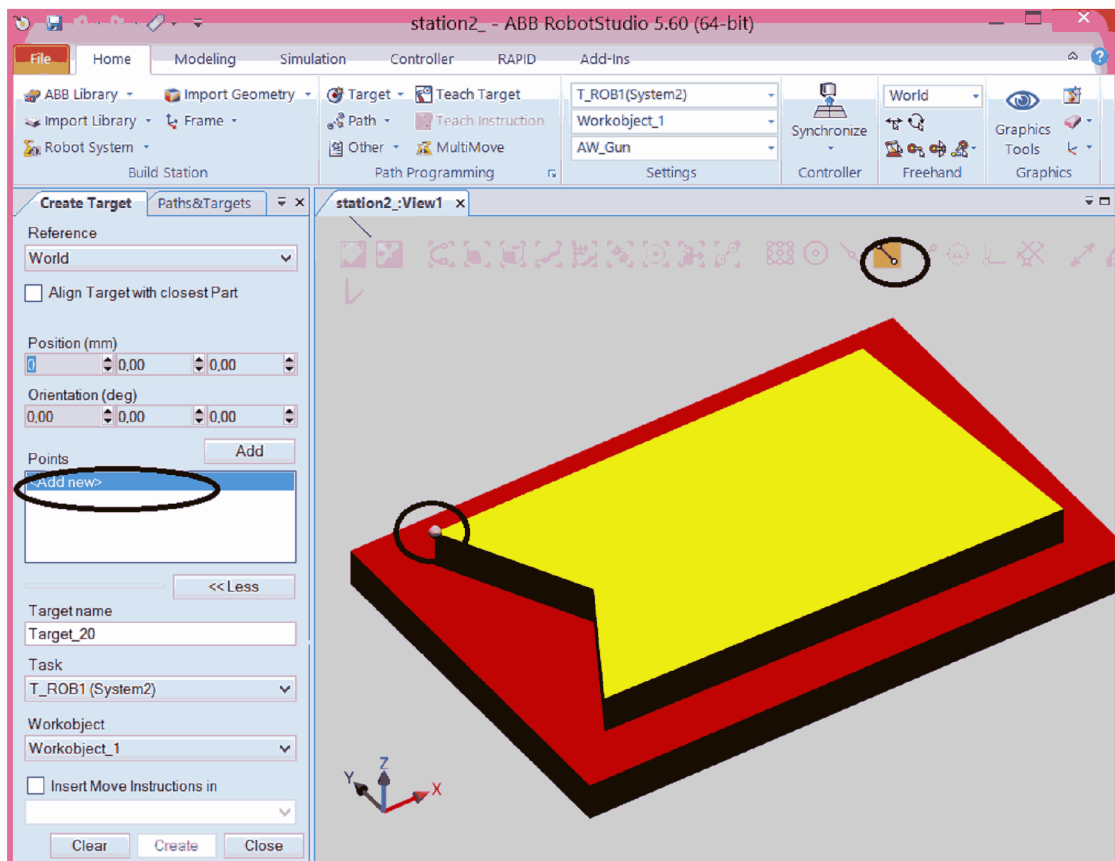


Рис. 12 Створення базових точок (частина 3)

Тепер ми можемо побачити інструмент, розміщений у цих цільових точках (Рис. 13):

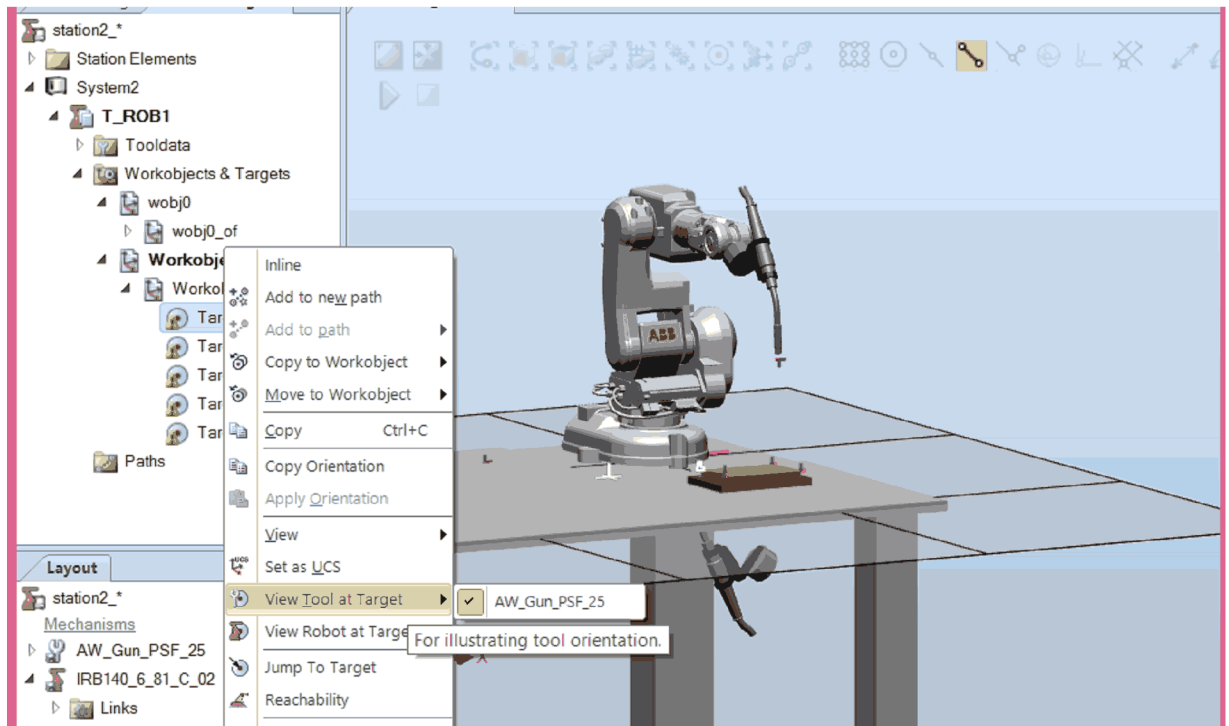


Рис. 13 Положення інструмента в створених базових точках

Нам потрібно переорієнтувати його в базових точках (Рис. 14-15):

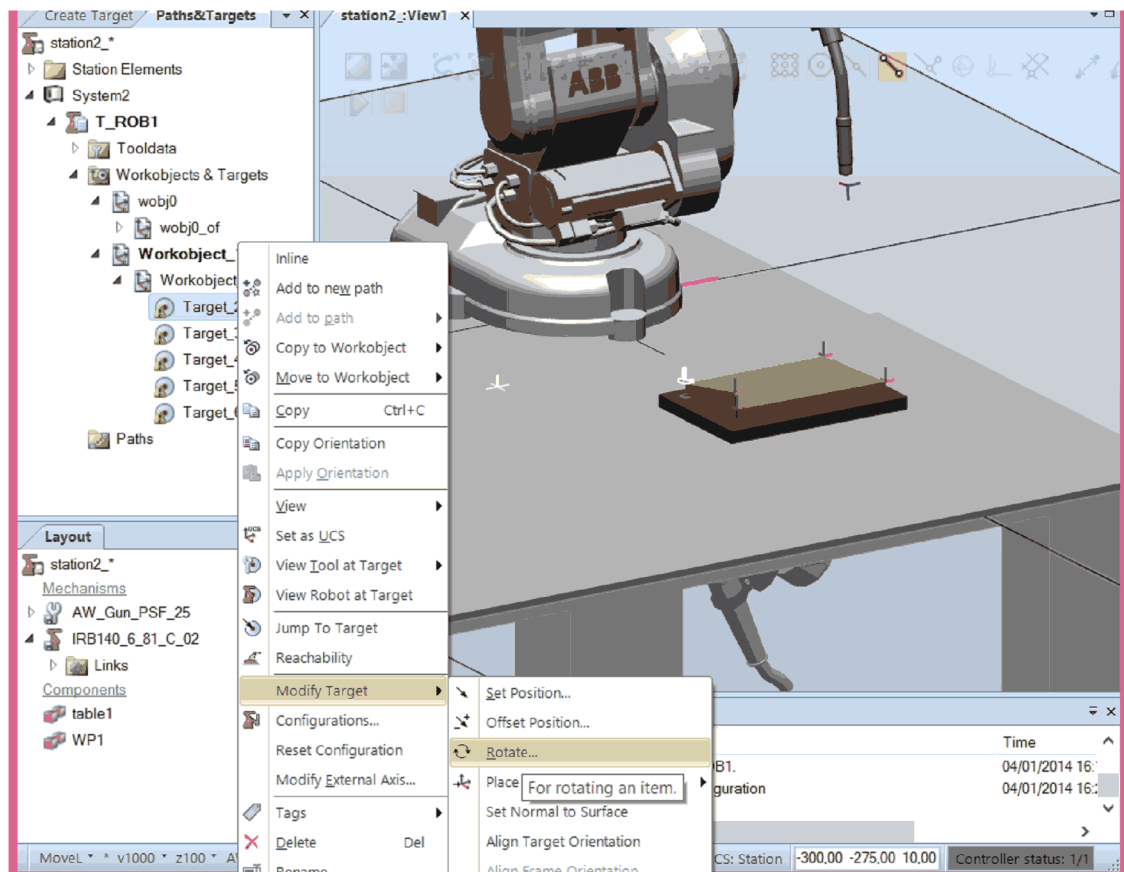


Рис. 14 Процес переорієнтації інструменту в точках (частина 1)

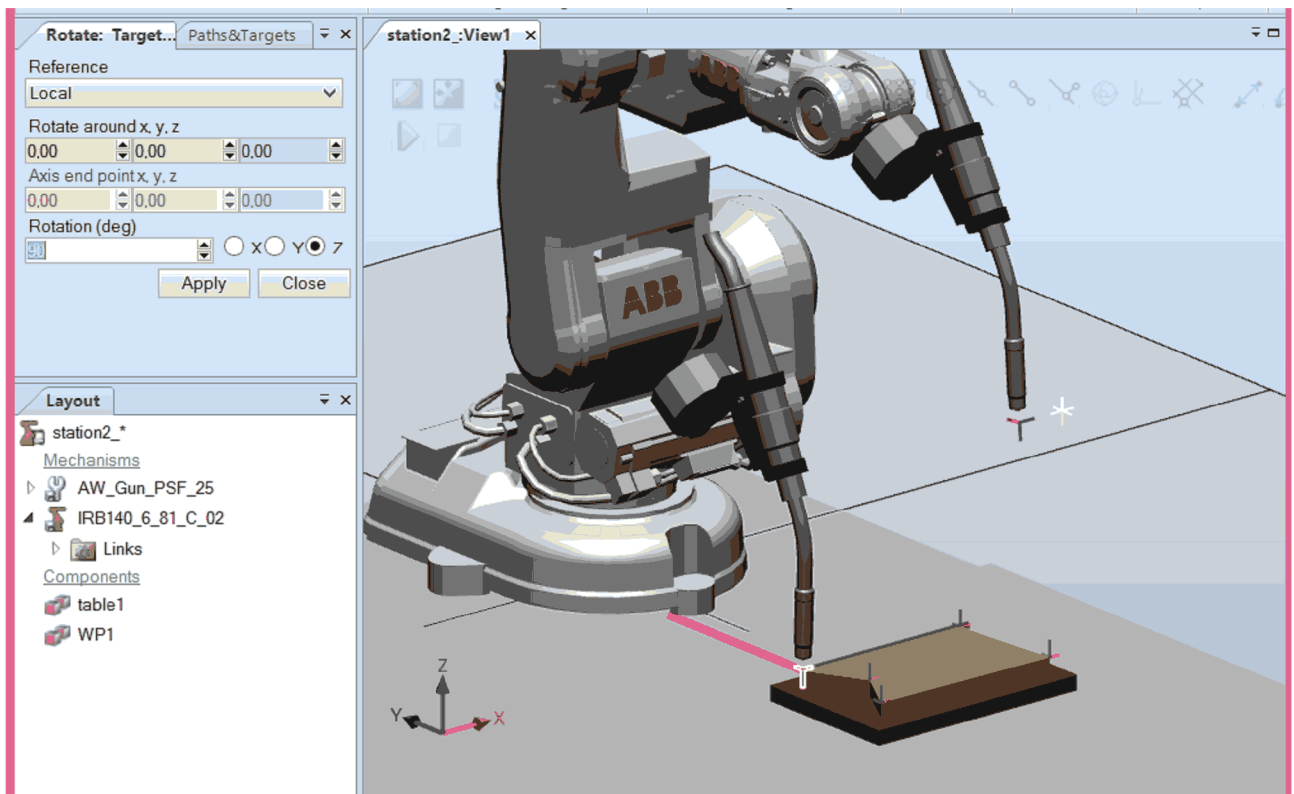


Рис. 15 Процес переорієнтації інструменту в точках (частина 2)

Як і в Лабораторній роботі № 2, ми можемо скопіювати орієнтації для кожної базової точки (Рис. 16):

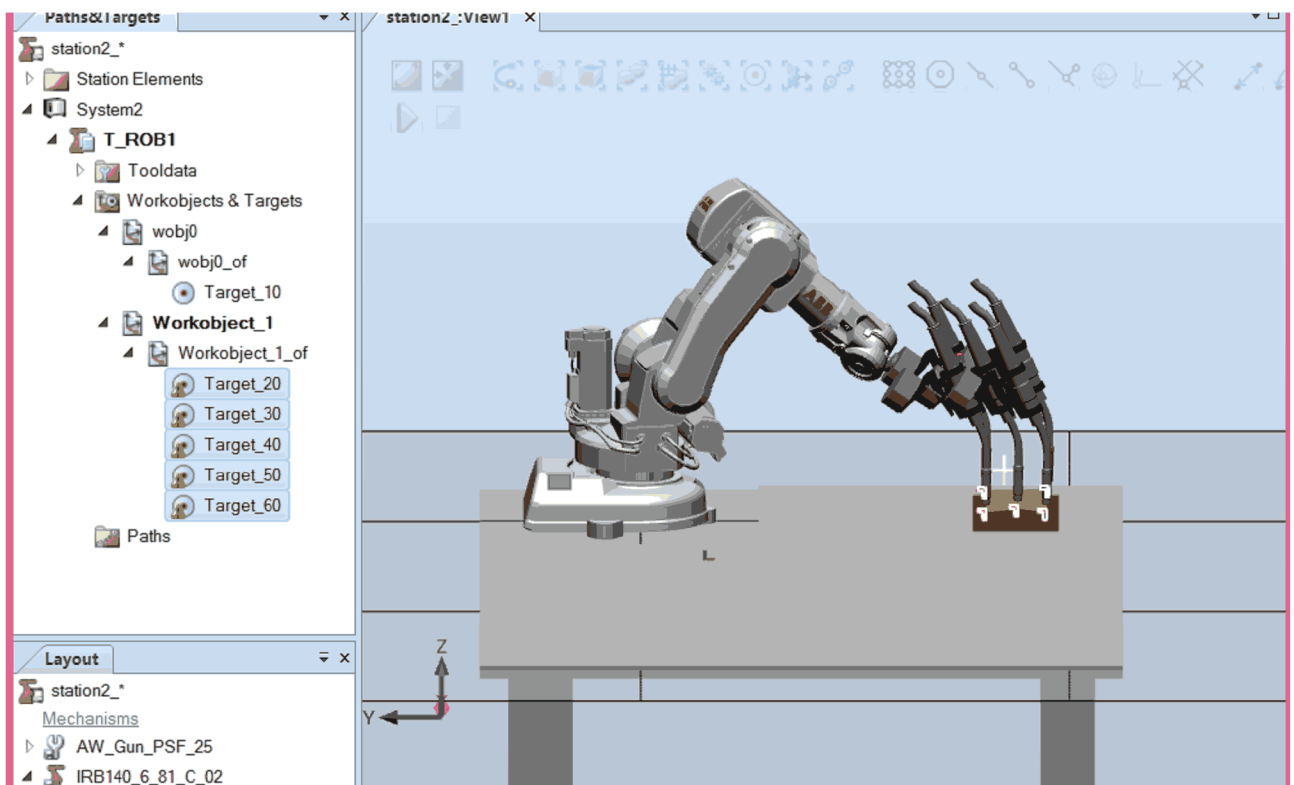


Рис. 16 Результат копіювання орієнтації в базових точках

Перевірте доступність точок, іншими словами перевірте чи може робот досягти вибраних точок (Рис. 17-18):

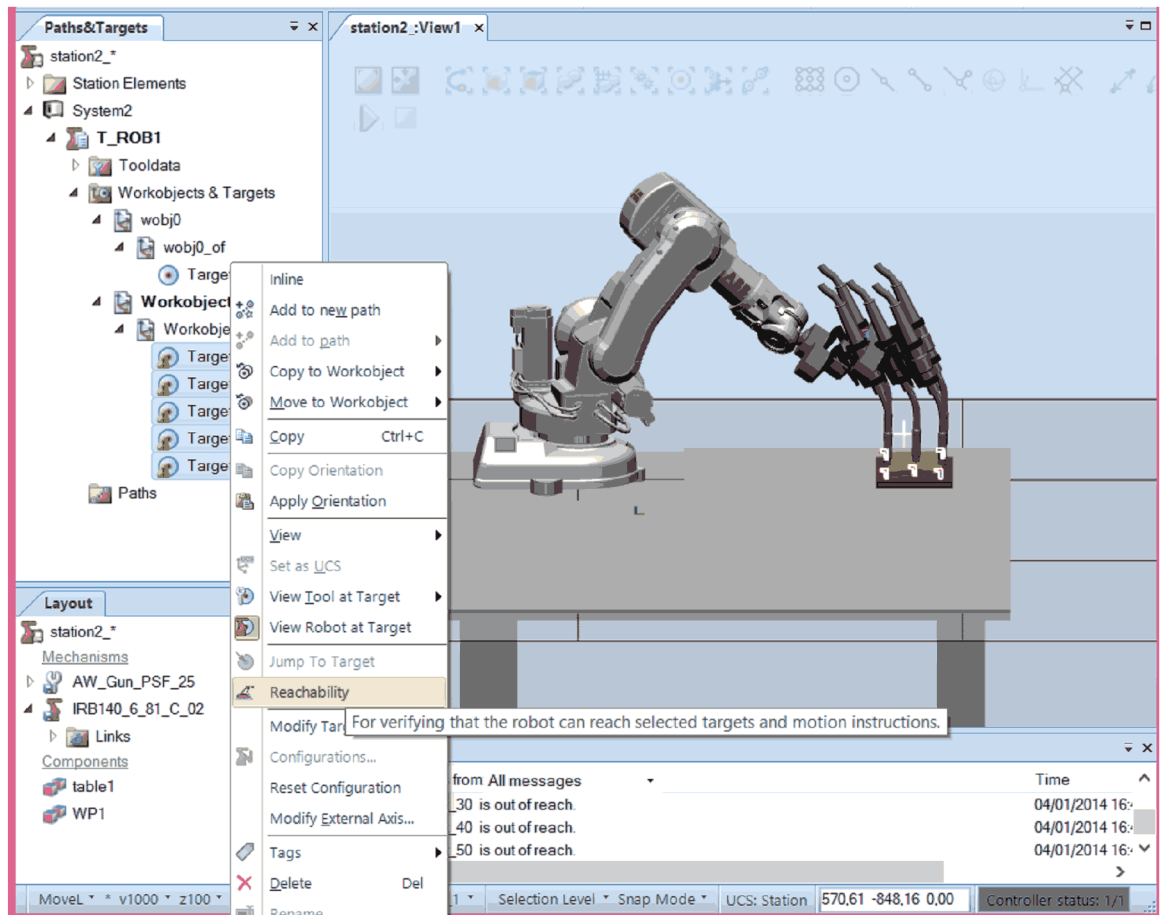


Рис. 17 Перевірка доступності базових точок (частина 1)

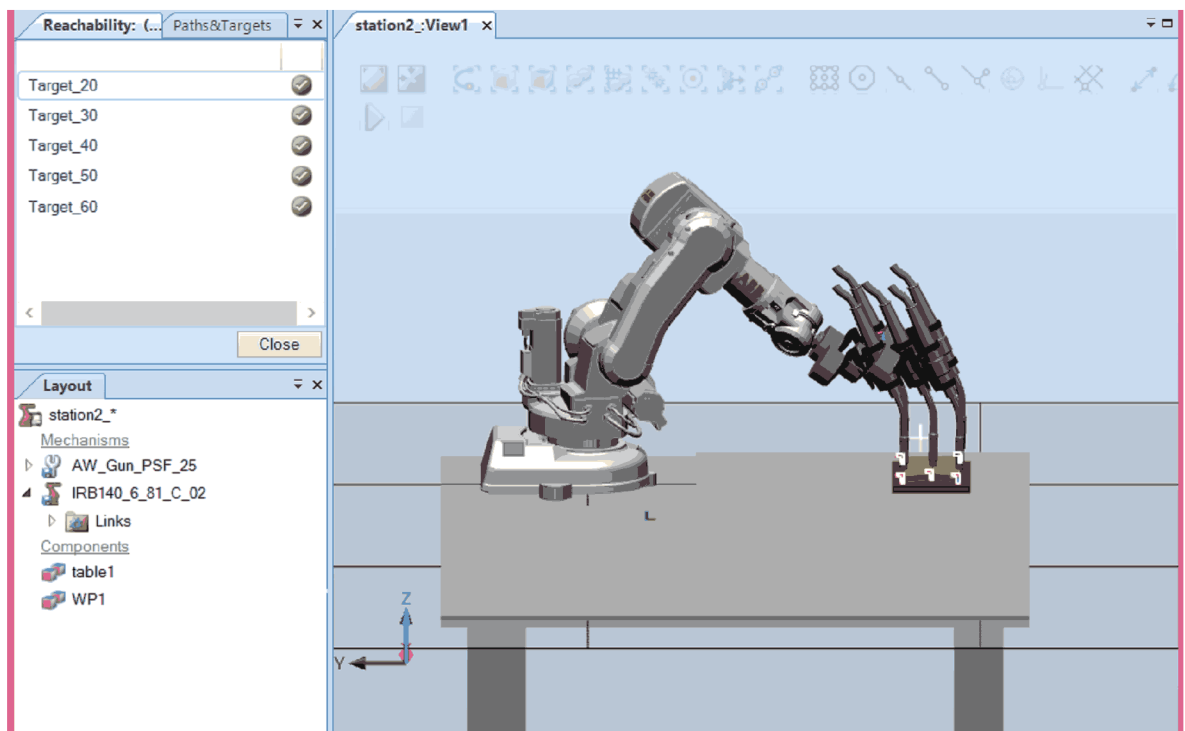


Рис. 18 Перевірка доступності базових точок (частина 2)



Якщо вони зелені, наступник кроком є створення траєкторії, як у Лабораторній роботі № 2 (Рис. 19). Після цього інструкції при необхідності можна змінити:

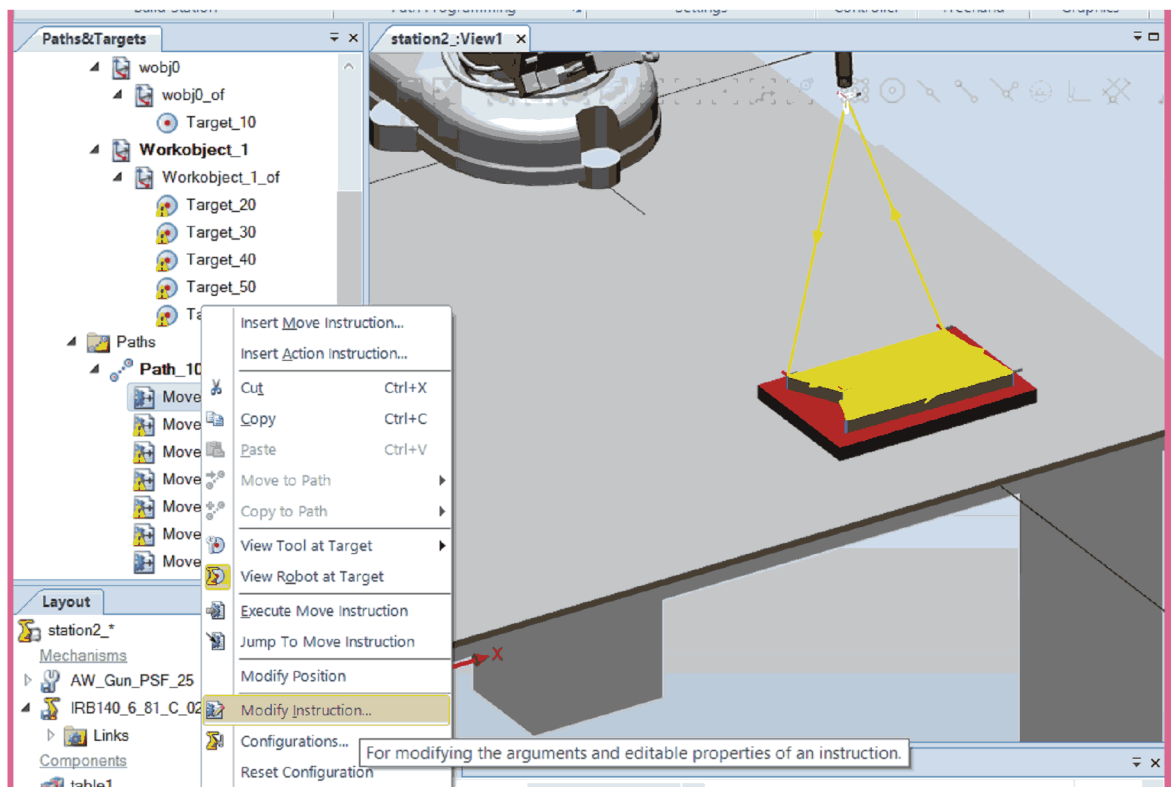


Рис. 19 Створення траєкторії

Тепер необхідно провести автоматичне налаштування положення ланок промислового робота (Рис. 20):

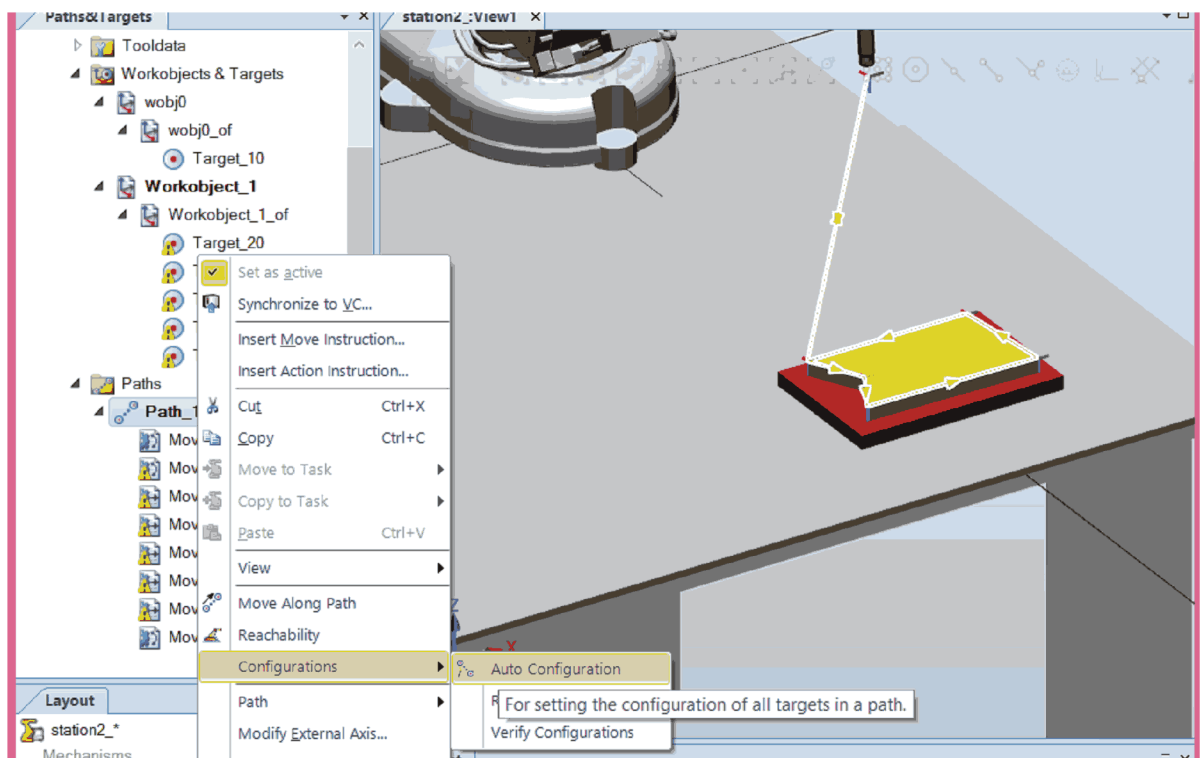


Рис. 20 Автоматичне налаштування положення ланок

Тут може трапитися певна ситуація. Ви можете отримати деякі попередження щодо цих положень ланок, так що вам доведеться змінювати орієнтацію кожної базової точки до досягнення коректного рішення (Рис. 21).

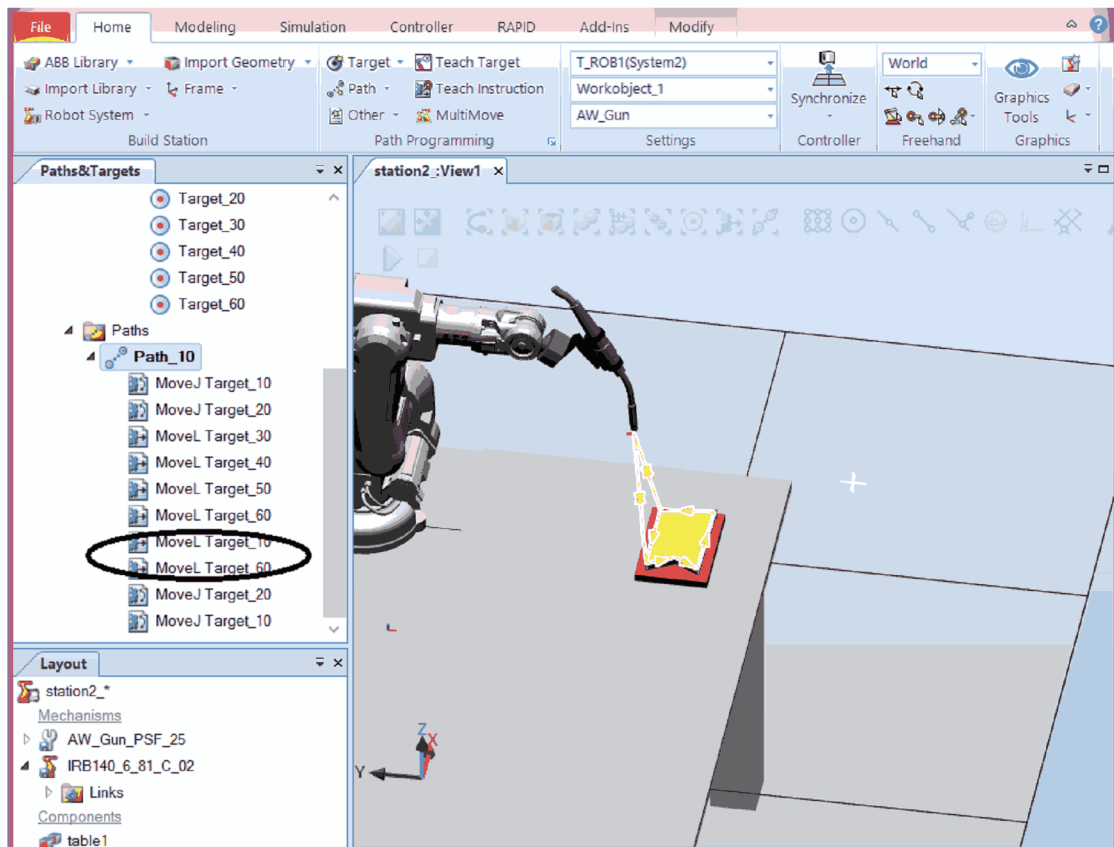


Рис. 21 Результат конфігурації ланок

Ми можемо подивитися параметри осей робота щоб побачити, чи суглоб робота досягає своєї межі (Рис. 22):

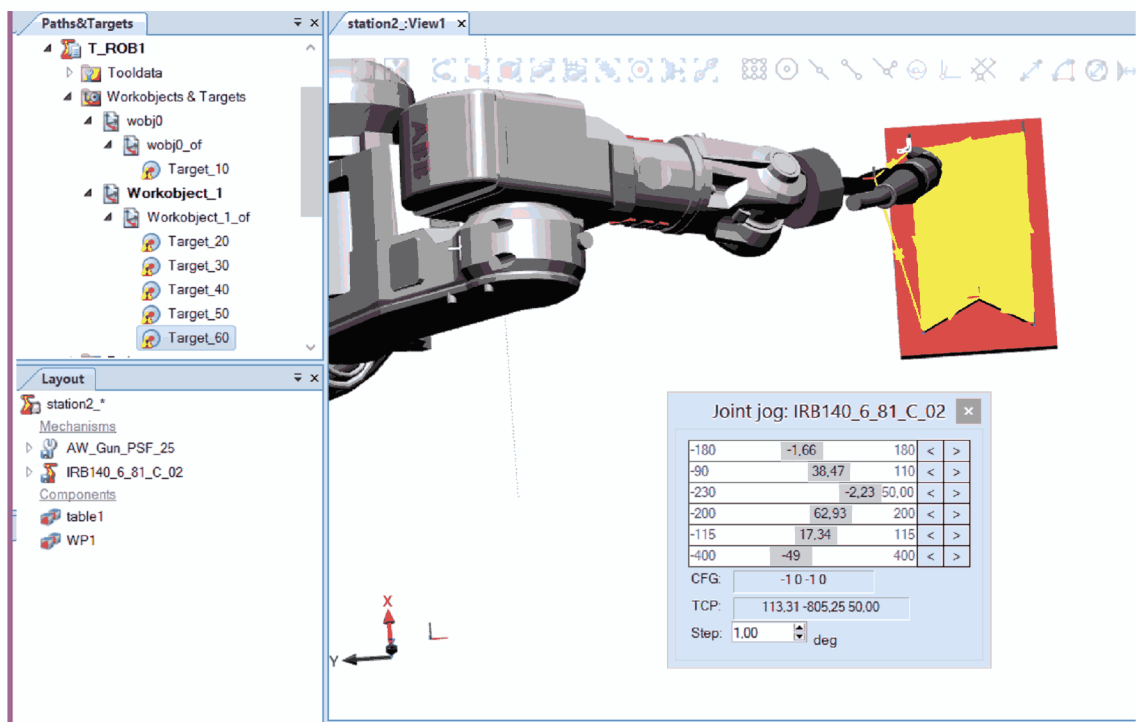


Рис. 22 Параметри осей робота



Синхронізуйте, додайте Path\_10 у налаштування моделювання та змодельуйте. Щоб побачити лінію траєкторії, виберіть функціональність монітора (Рис. 23-24):

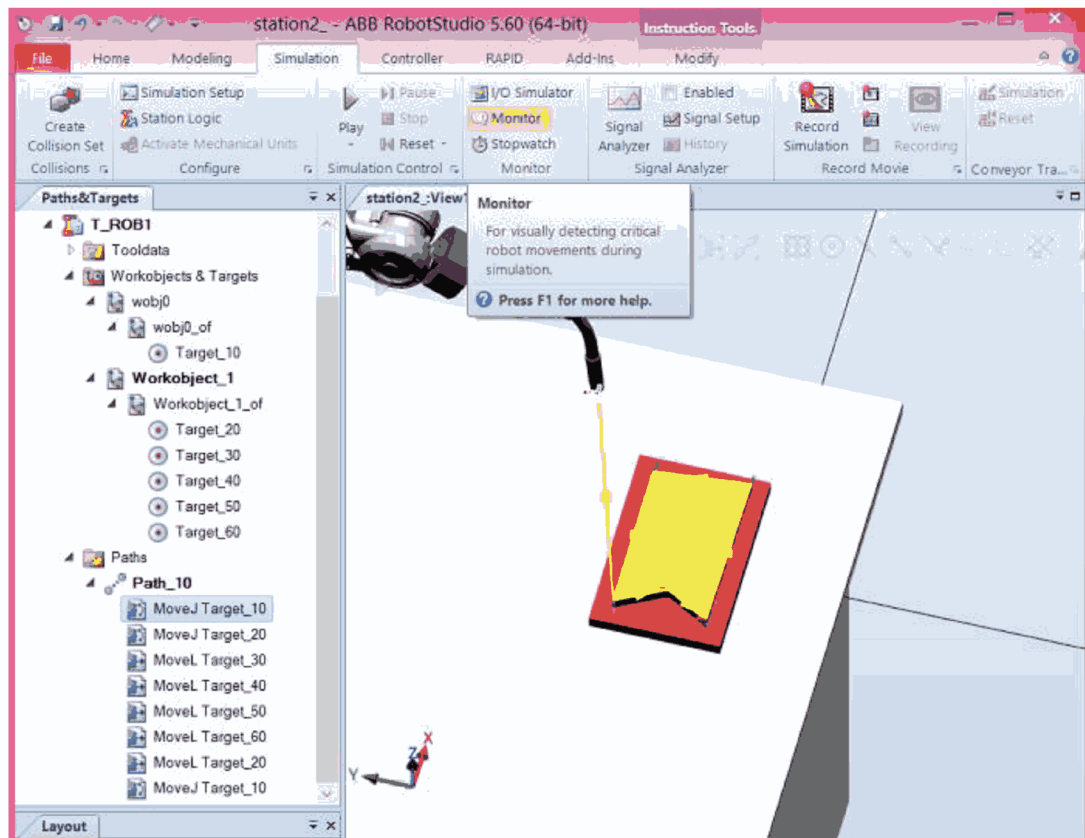


Рис. 23 Використання моніторингу (Частина 1)

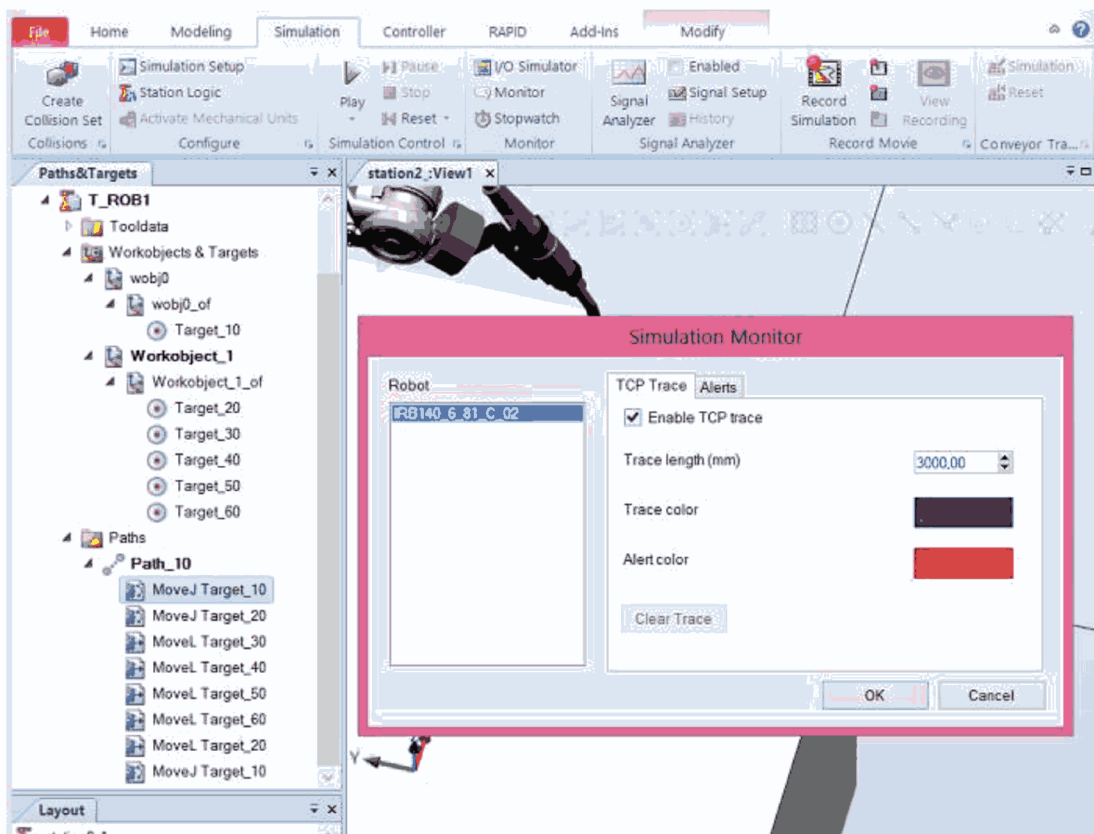


Рис. 24 Використання моніторингу (Частина 2)

І проведемо симуляція операції над об'єктом (Рис. 25):

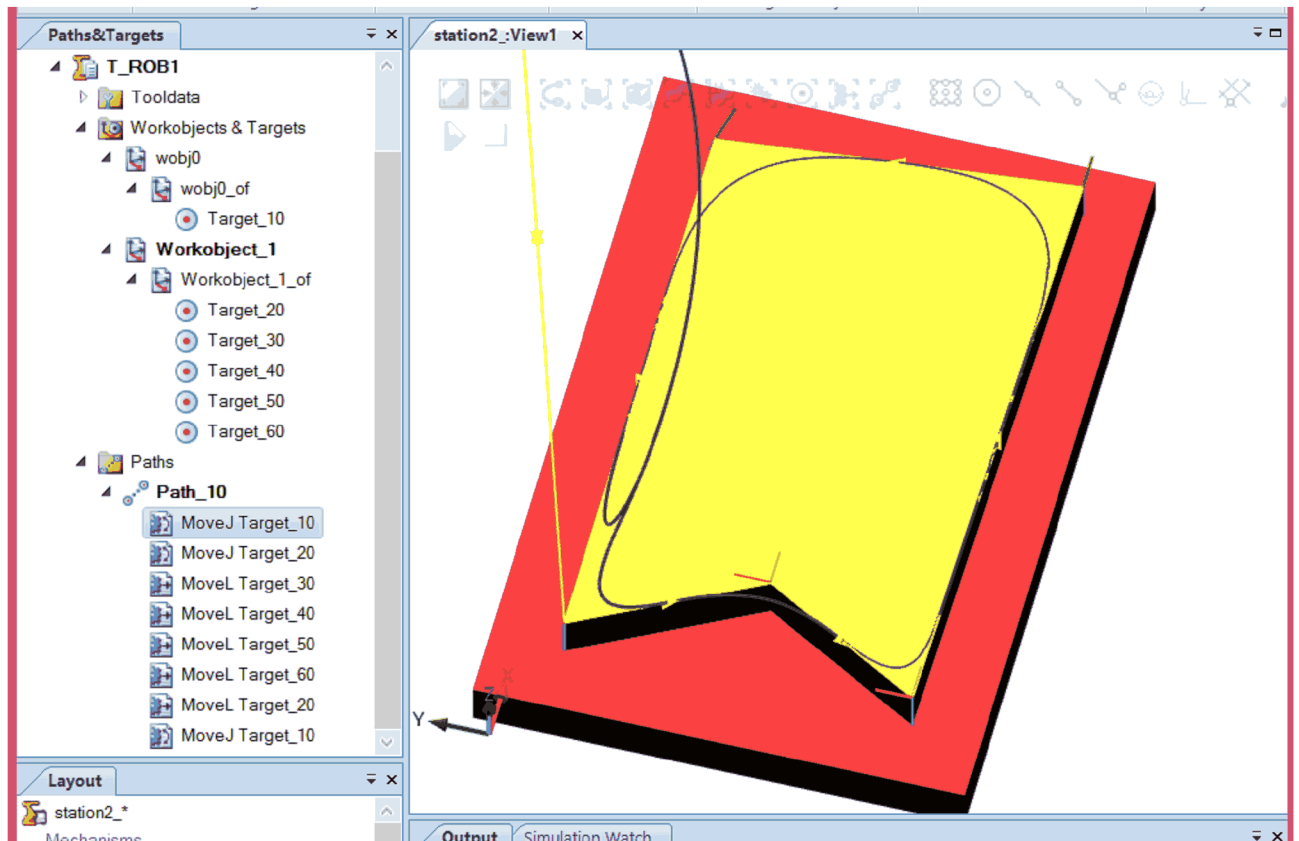


Рис. 25 Результат симуляції

Ви можете бачити, що TCP не досягає базових точок. Це тому, що ми використовуємо точність зони 100 (Рис. 26). Виберіть z – «fine» (синхронізуйте знову) і робот досягне базових точок (Рис. 27).

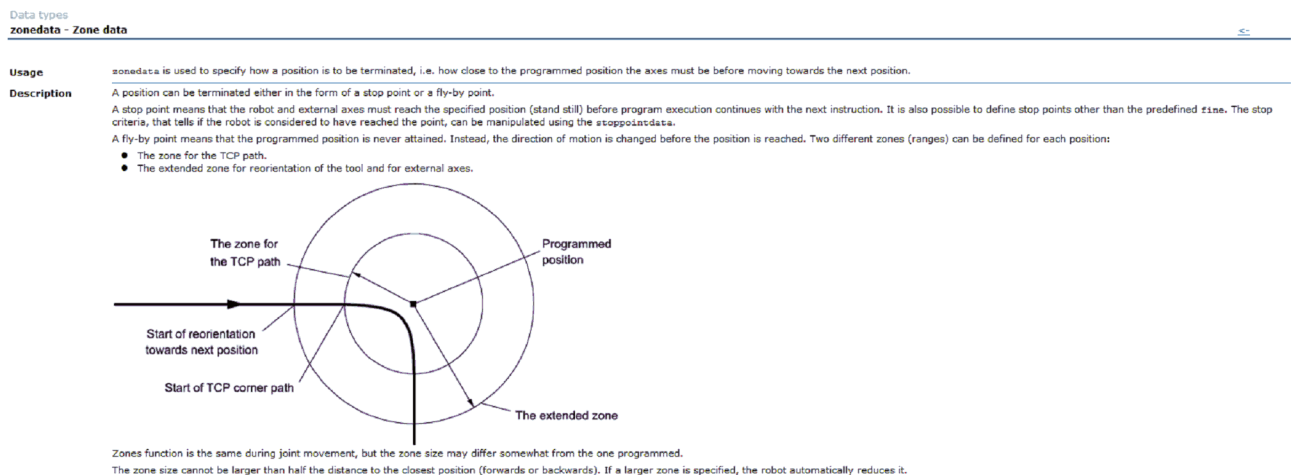


Рис. 26 «Help», що таке «zonedata»

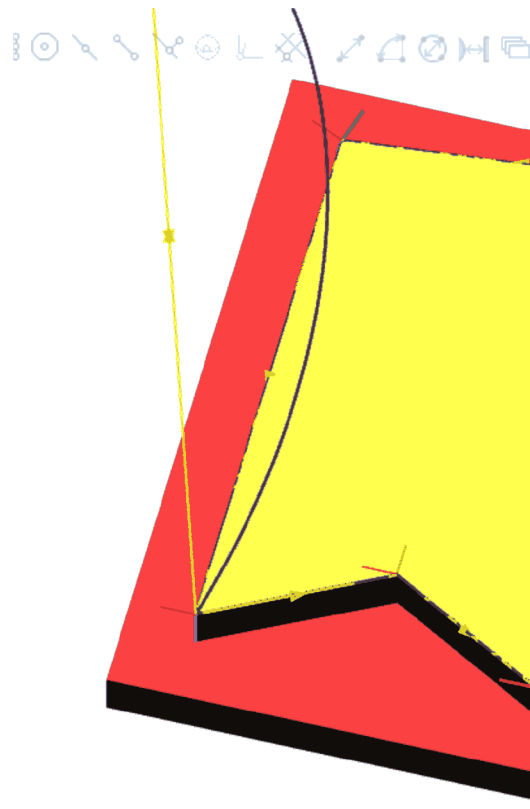


Рис. 27 Результат зміни «zonedata» з 100 на «fine»

Після цього нам може знадобитися змінити положення заготовки з прикріпленими точками (Рис. 28):

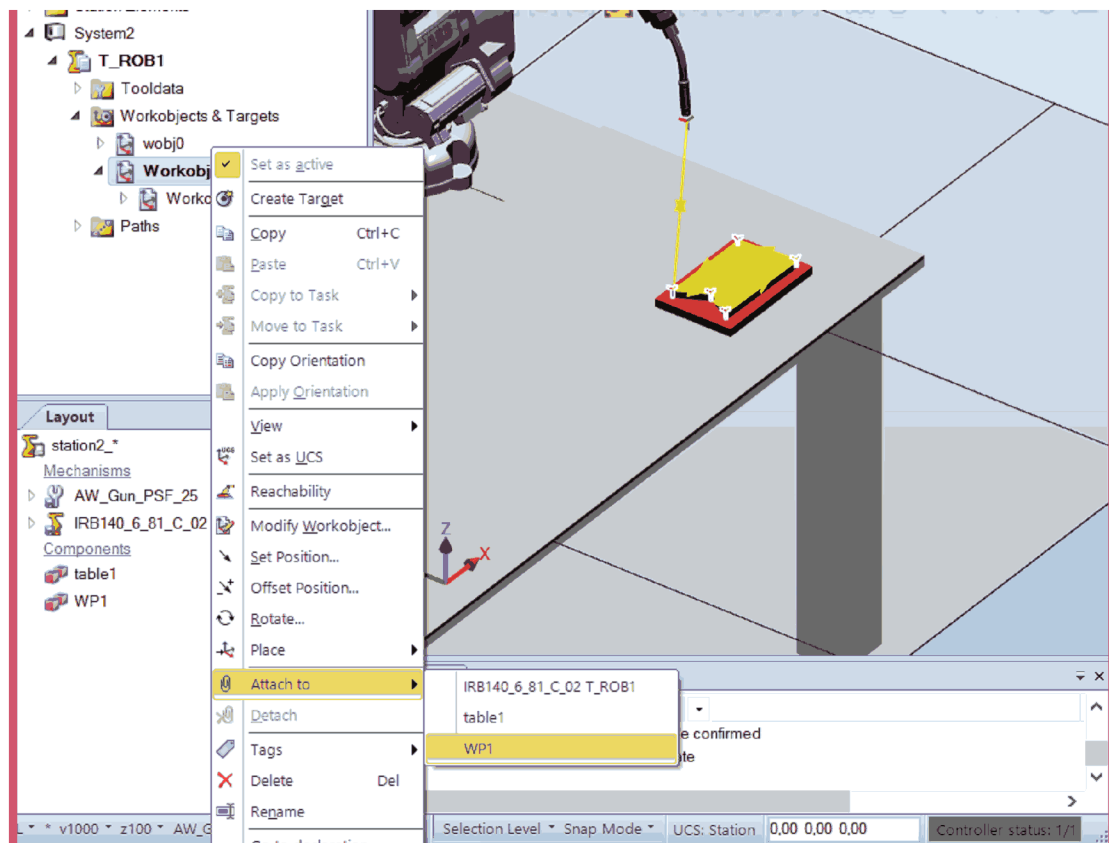


Рис. 28 Прикріплення точки до робочого об'єкту

Тепер ми можемо переміщувати заготовку з пов'язаними базовими точками (Рис. 29):

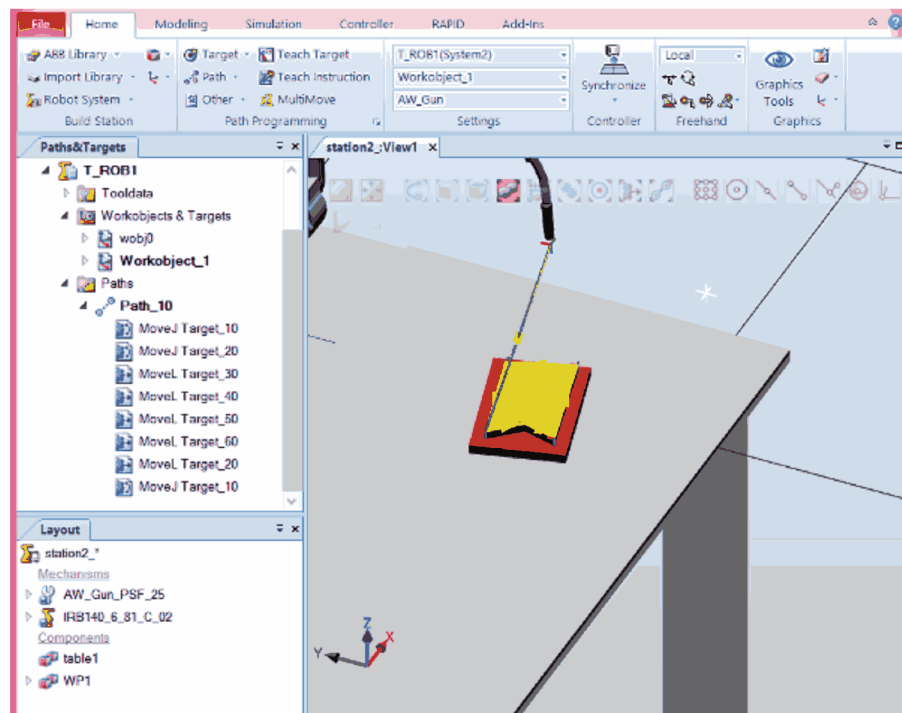


Рис. 29 Переміщення заготовки із прив'язаними базовими точками

### 3. RAPID

Перейдем до вкладки «Controller» (контролер) (Рис. 30):

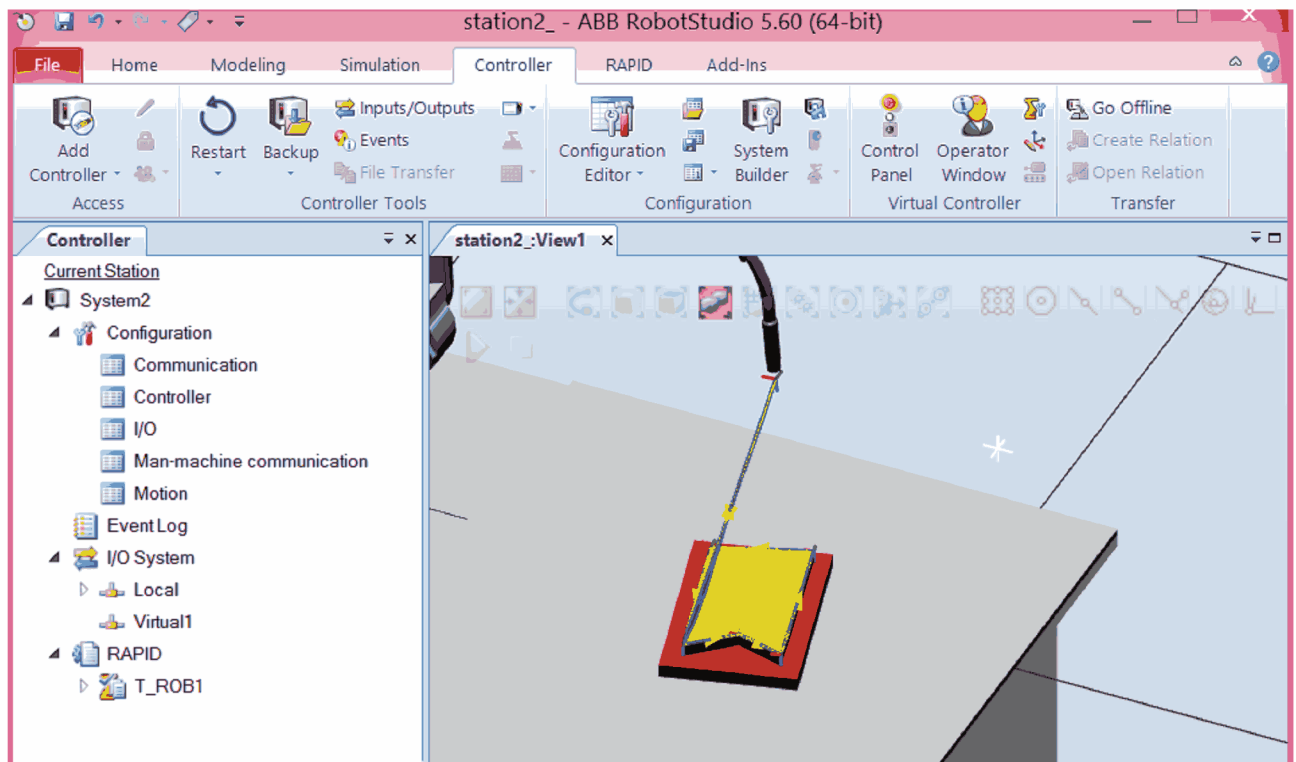


Рис. 30 Вкладка контролер

В розділі «RAPID» у нас є створені програми (Рис. 31):

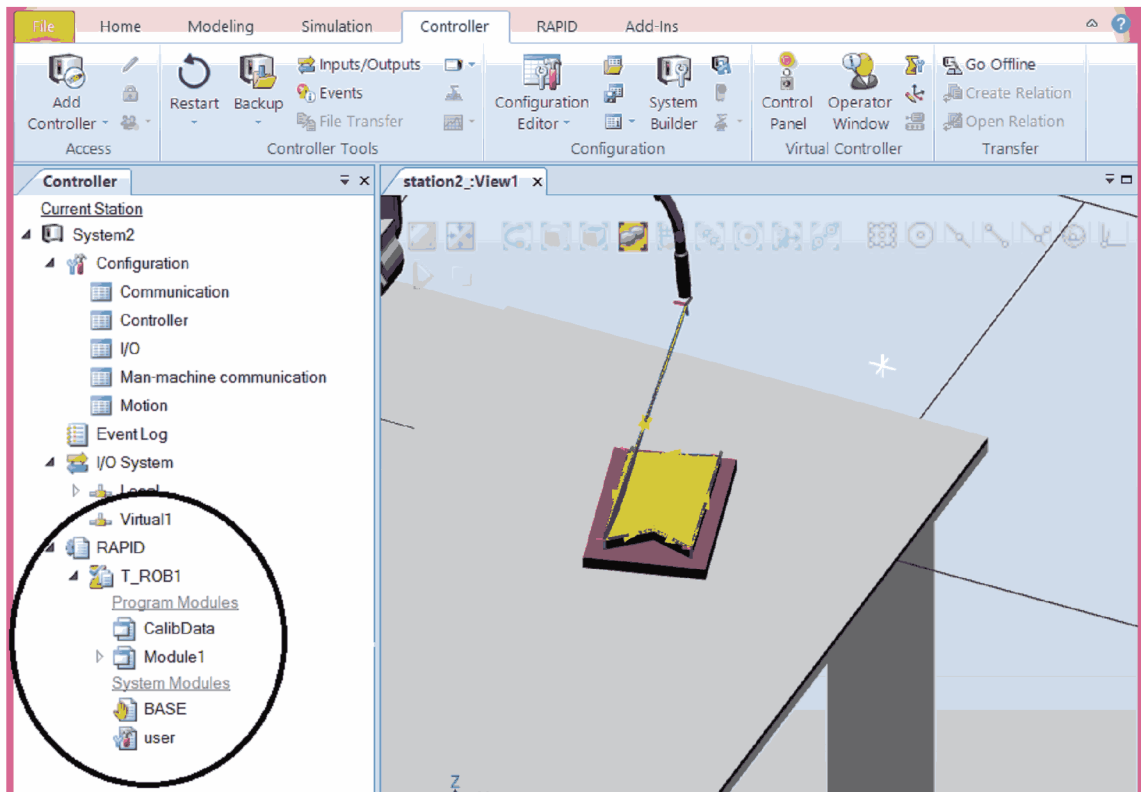


Рис. 31 Пункт «RAPID» в вкладці контролера

Ми можемо побачити, що знаходиться всередині цих модулів (Рис. 32):

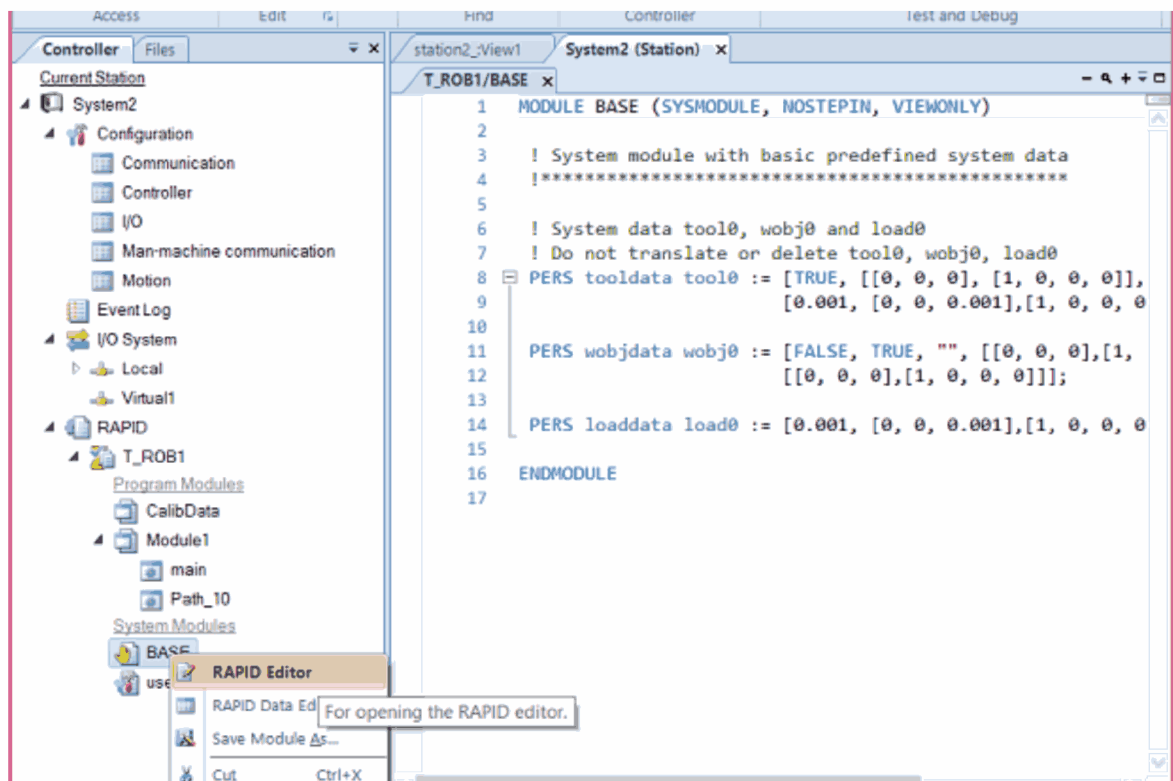


Рис. 32 Опис робочої станції в «RAPID»

Але важливим для нас є «Module 1» (Рис. 33):

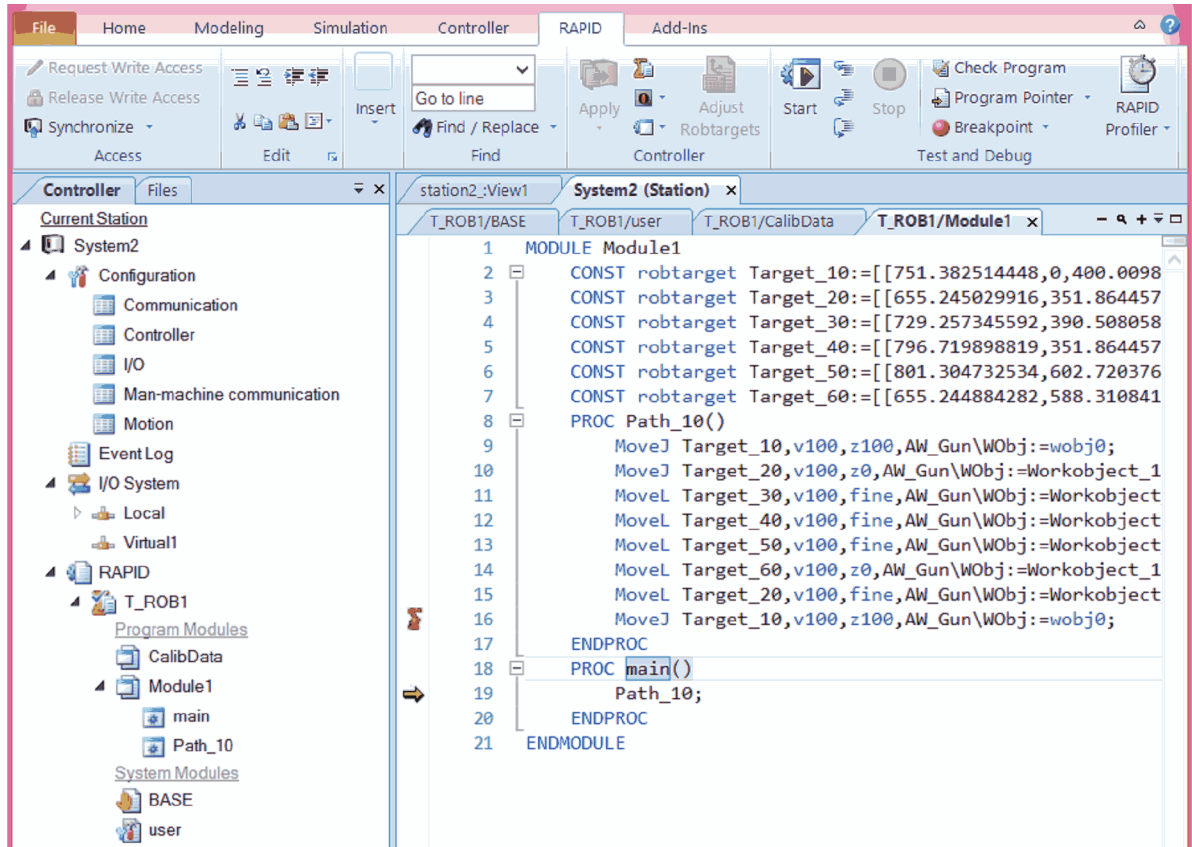


Рис. 33 Опис підпрограми «Module 1»

Можна зберегти програму (Рис. 34):

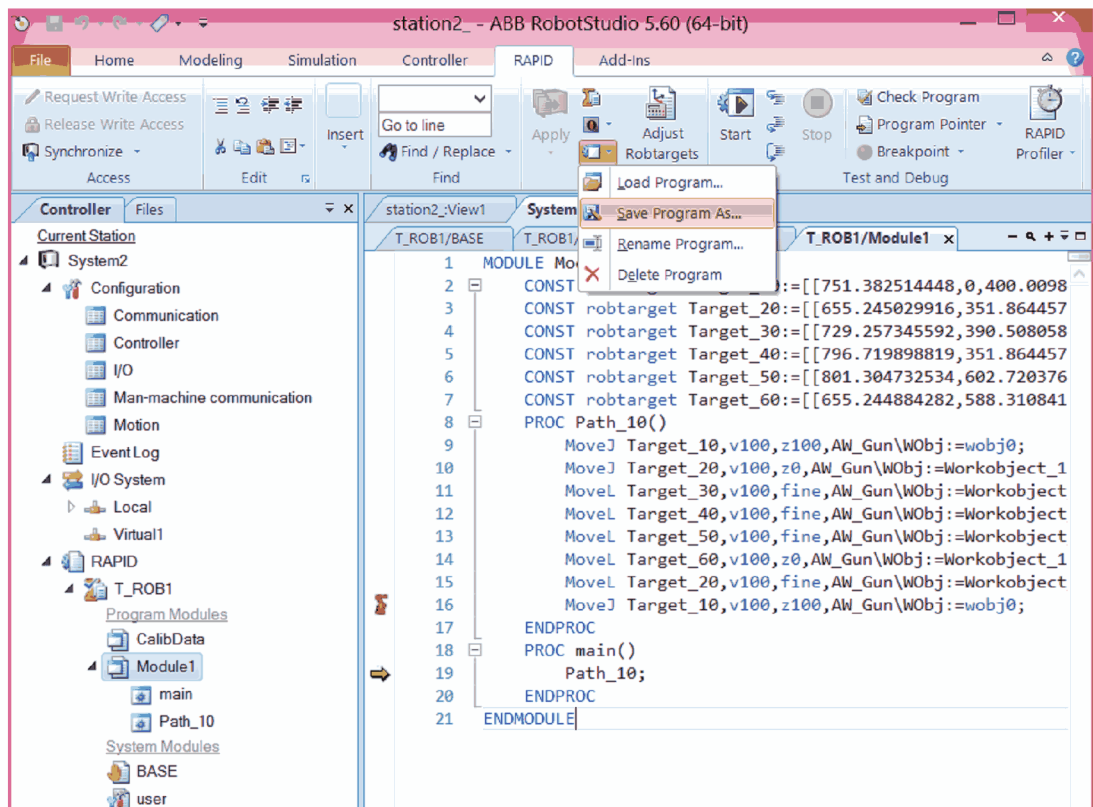


Рис. 34 Збереження програми



Після цього перегляньте одночасно моделювання робота та запуск коду (Рис. 35-36):

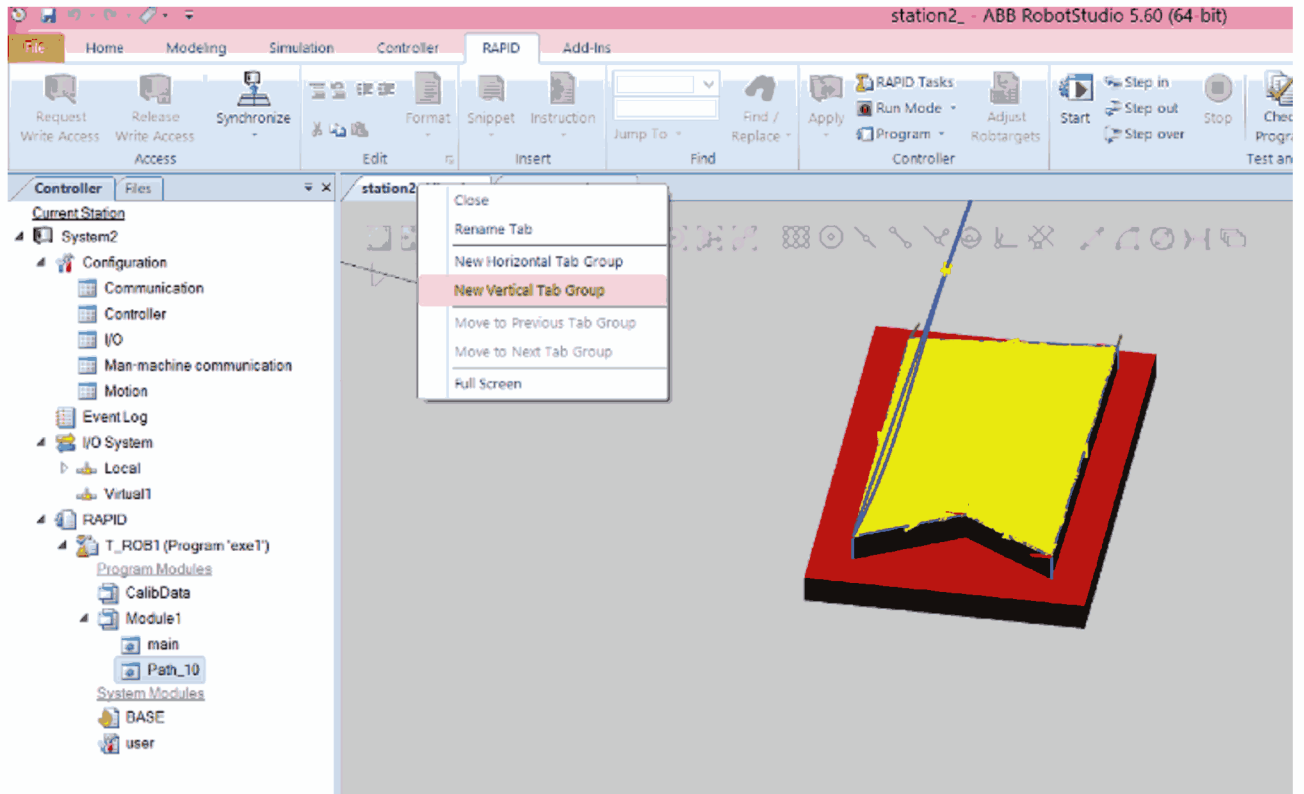


Рис. 35 Створення двох вертикальних вікон

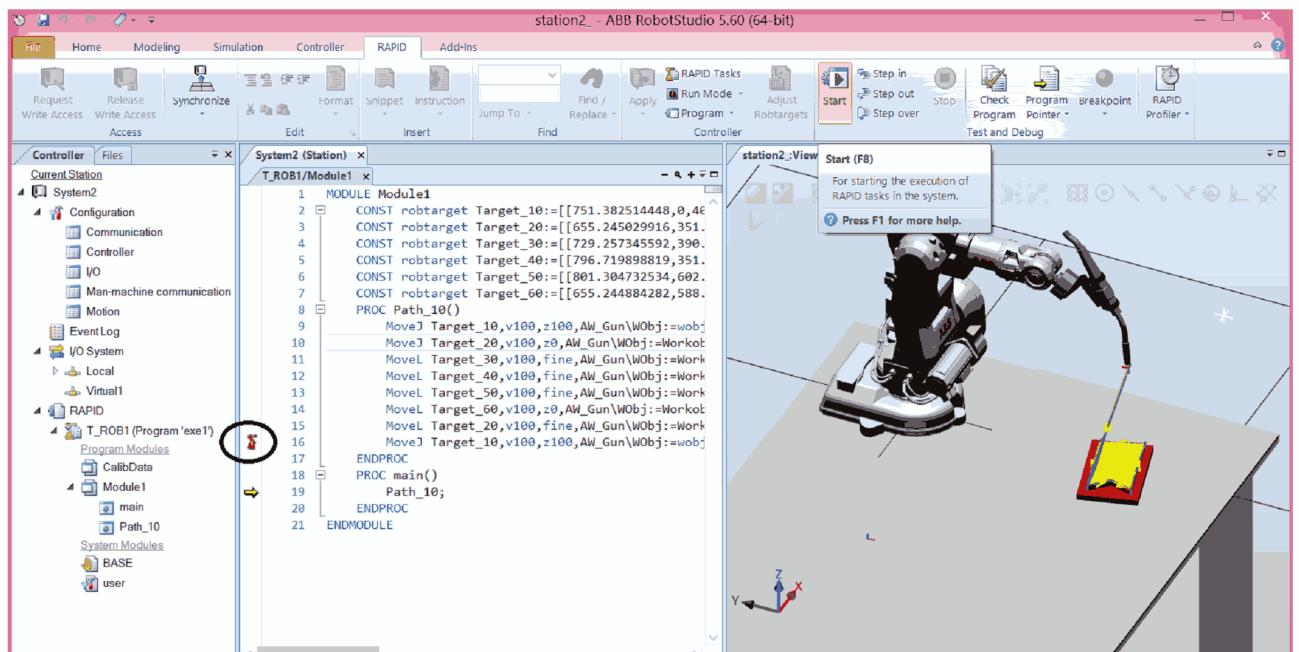


Рис. 36 Старт симуляції з двома вікнами

Тепер ми можемо редагувати програму, наприклад, змінюючи швидкість (Рис. 37):

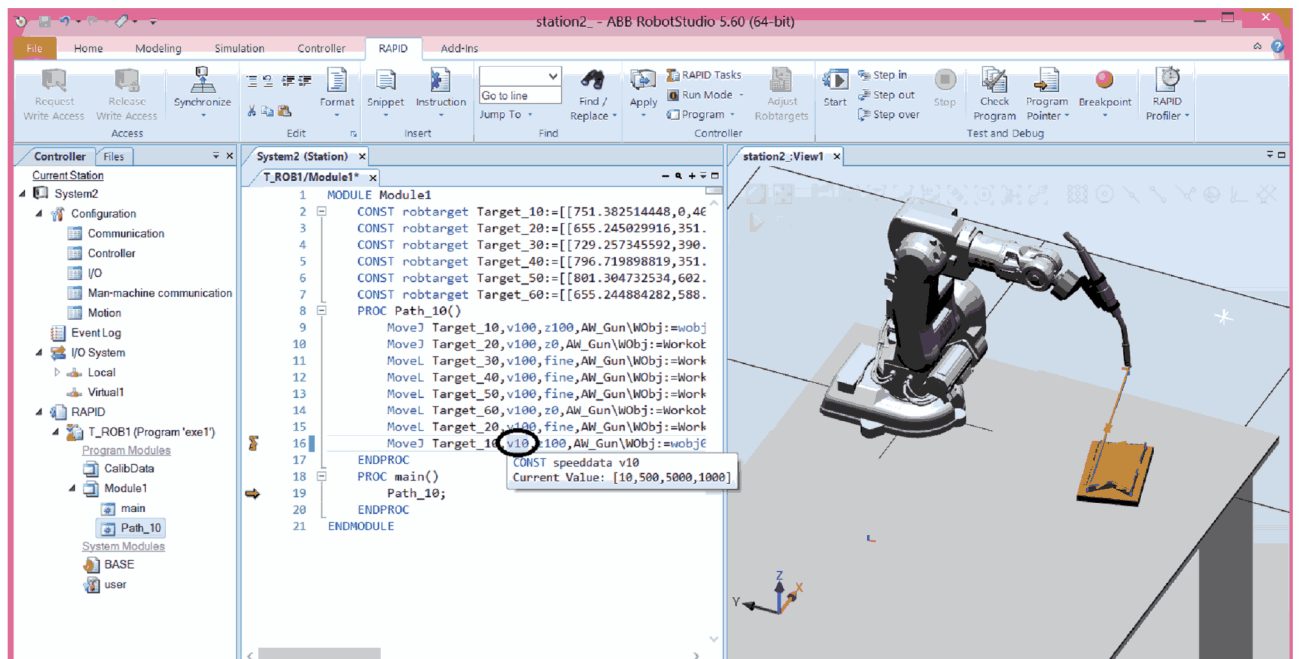


Рис. 37 Зміна швидкості промислового робота в «RAPID»

Тепер можна моделювати процес поетапно (Рис. 38):

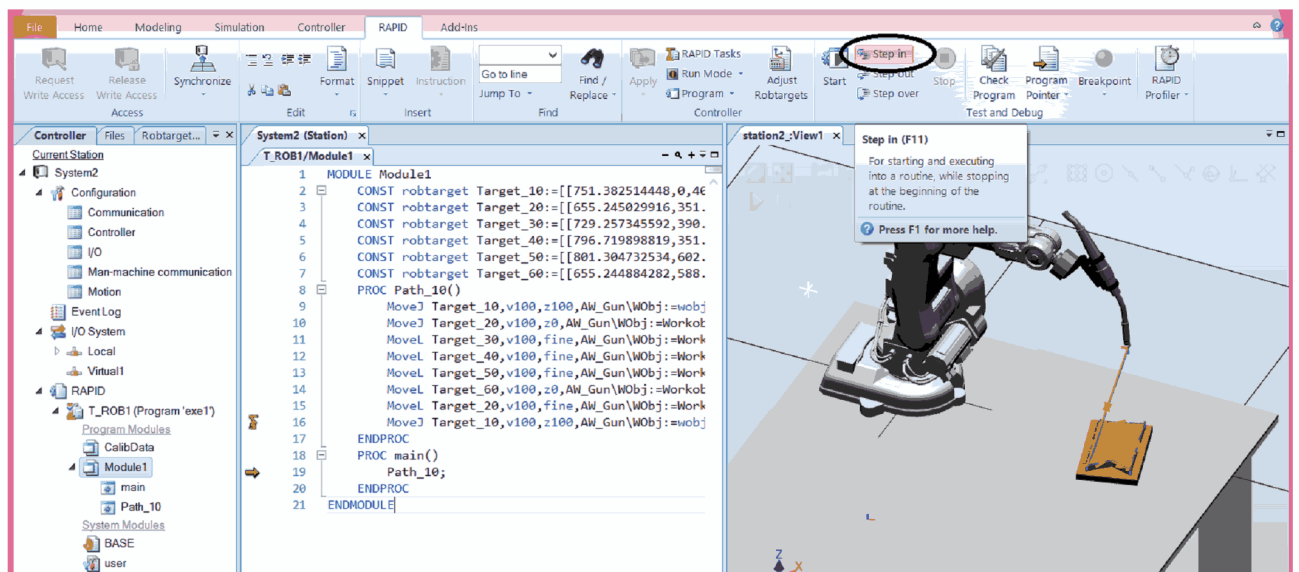


Рис. 38 Поетапне моделювання

#### 4. Контроль зіткнень

Іноді, коли впроваджена робототехнічна комірка, слід враховувати той факт, що навколо робота є як інші об'єкти, так і оператор. Все це вважається перешкодами, а контакт між роботом та одним із них називається зіткненням. RobotStudio дозволяє це змоделювати. На вкладці моделювання натисніть кнопку «Create Collision» (Створити зіткнення) (Рис. 39).

Відкрийте об'єкт зіткнення та перетягніть інструмент до «Objects A» (Об'єктів А), а робочі частини – до «Objects B» (Об'єктів В). Програмне забезпечення аналізує зіткнення між об'єктами типу А і В (Рис. 40).



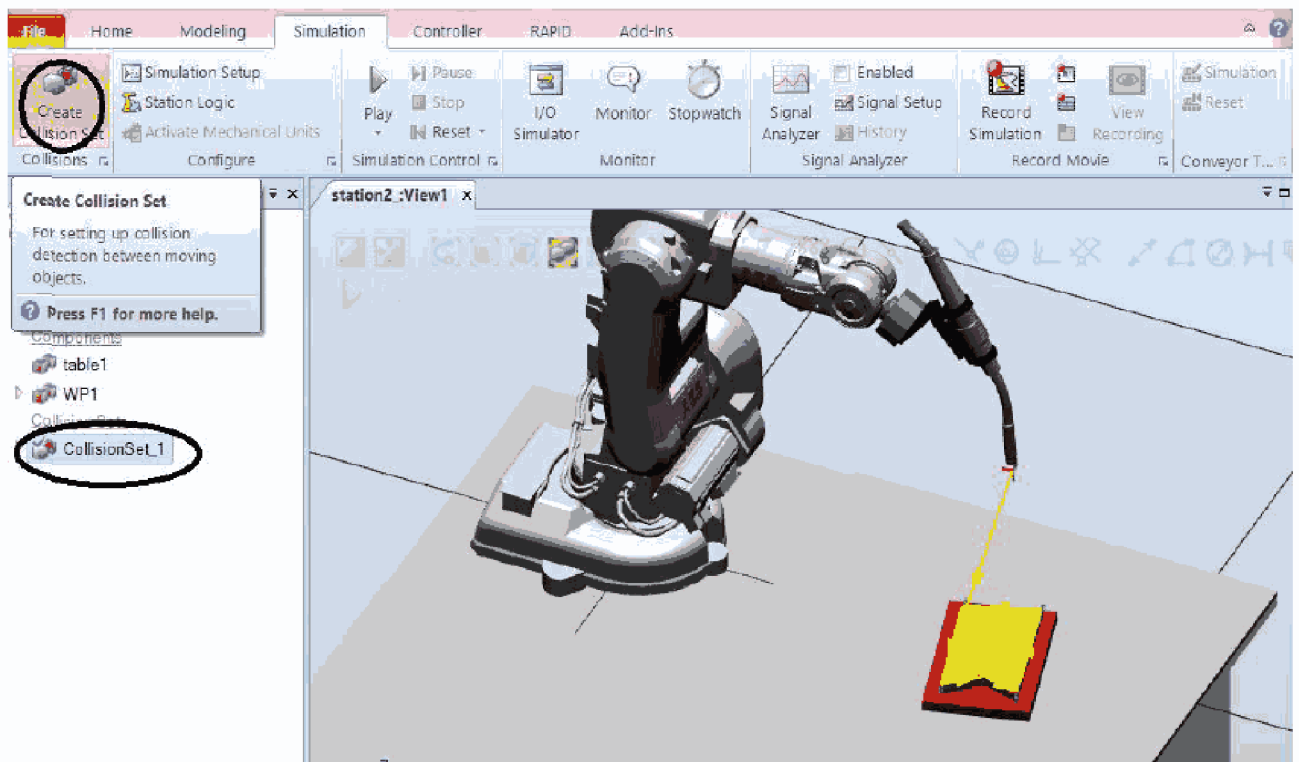


Рис. 39 Створюйте зіткнення

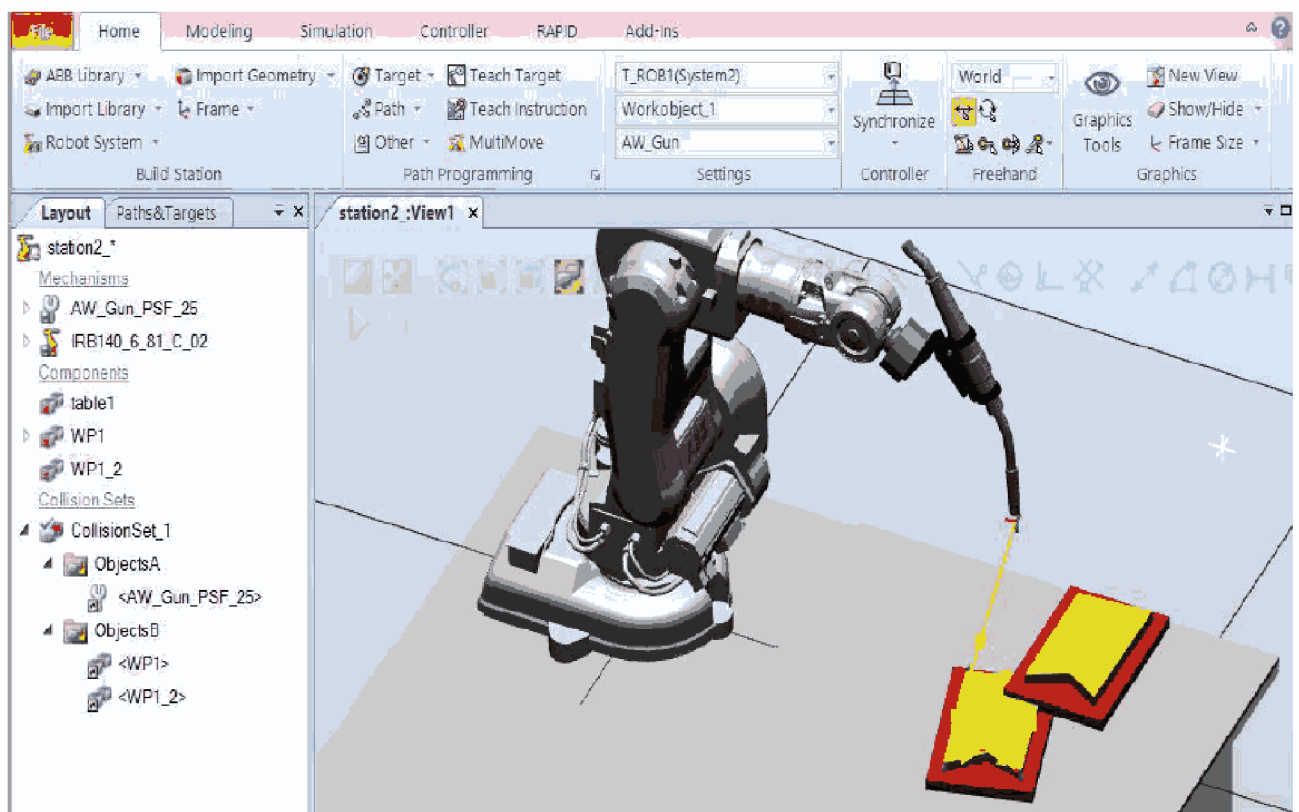


Рис. 40 Вкажіть інструмент та перешкоду для зіткнення

Також ми можемо змінити визначений сценарій зіткнення (Рис. 41) або змінити відстань зіткнення (Рис. 42). Згодом ми можемо змодельовати зіткнення та проаналізувати результати, як на рисунку 43.

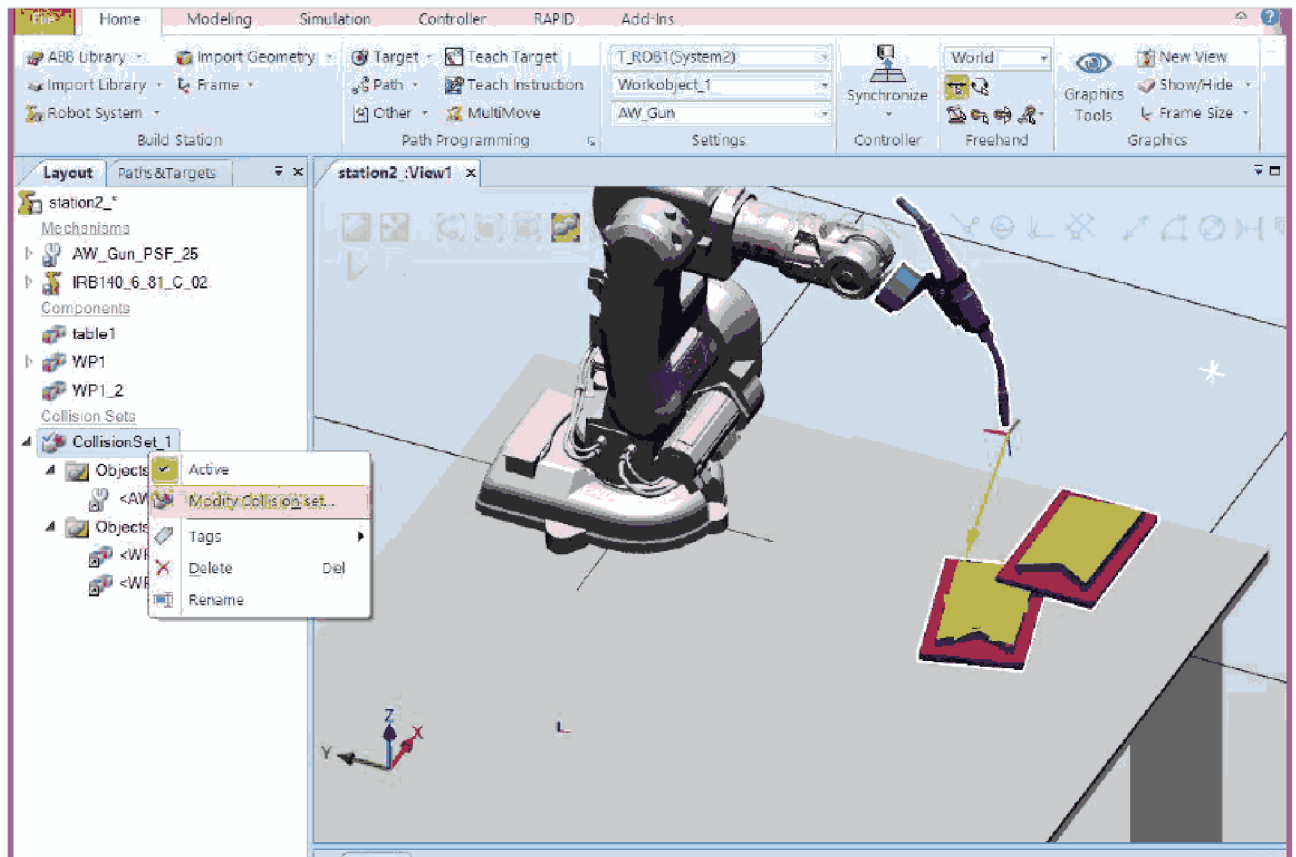


Рис. 41 Змінення параметрів зіткнення

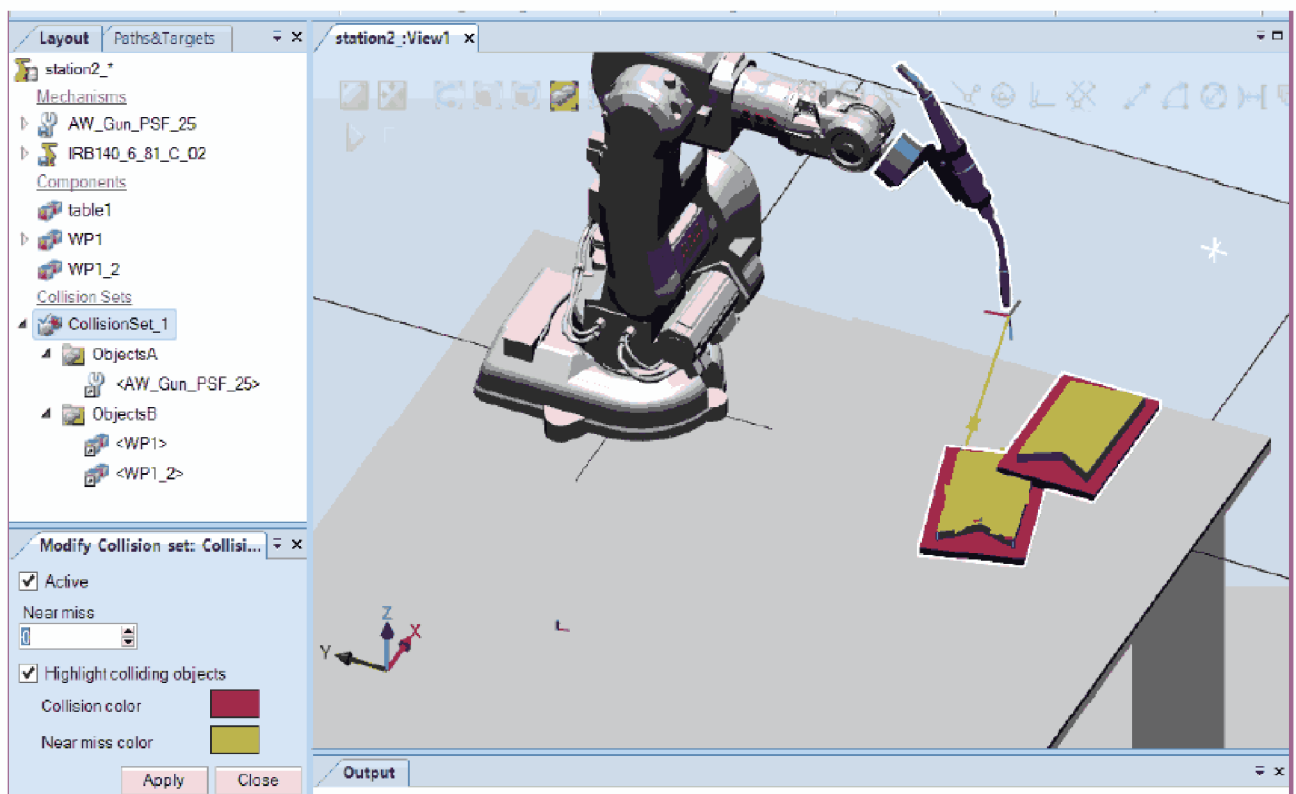


Рис. 42 Встановлення певної відстані зіткнення

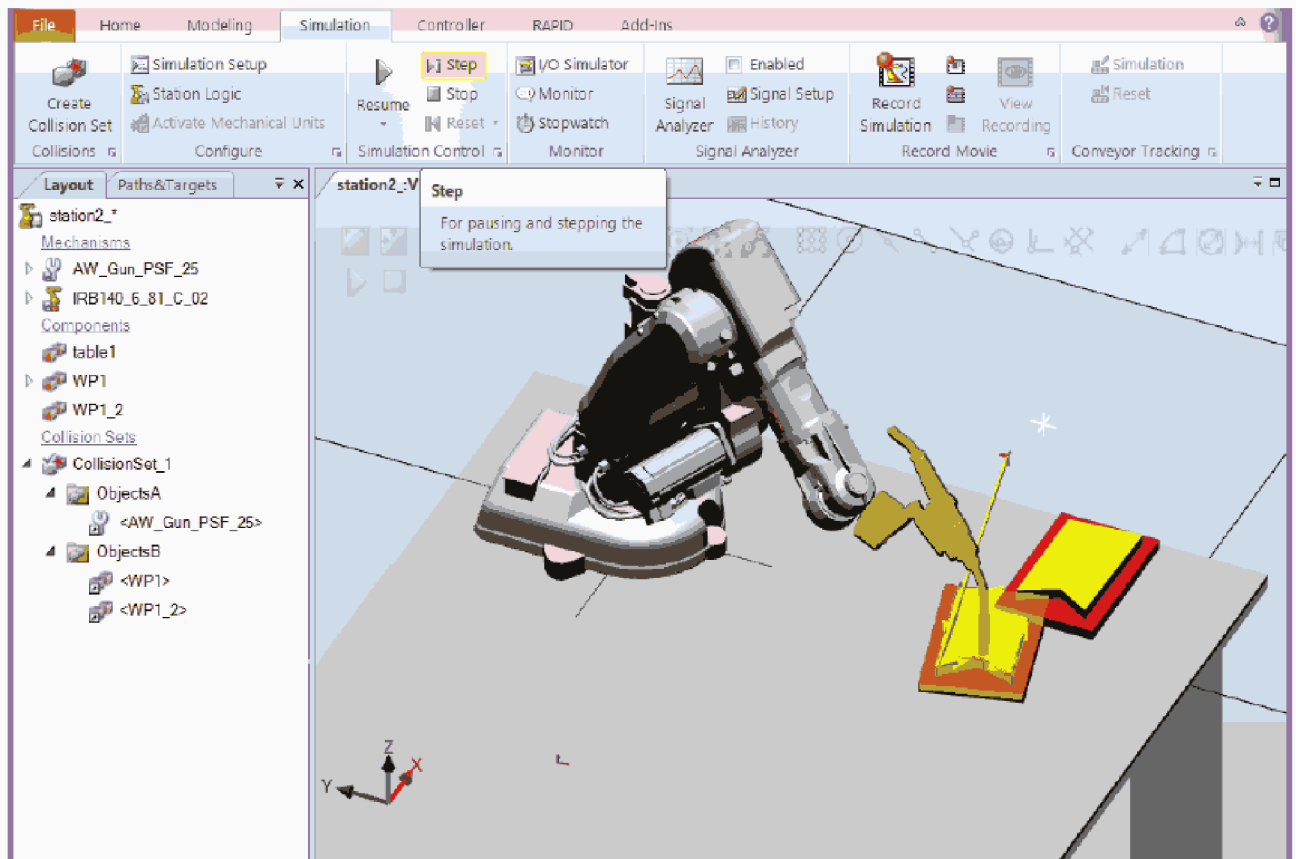


Рис. 43 Імітуємо зіткнення

## 5. Криві

Додайте нову заготовку з кривою. Виберіть «Curve Selection» (Вибір кривої) (Рис. 44):

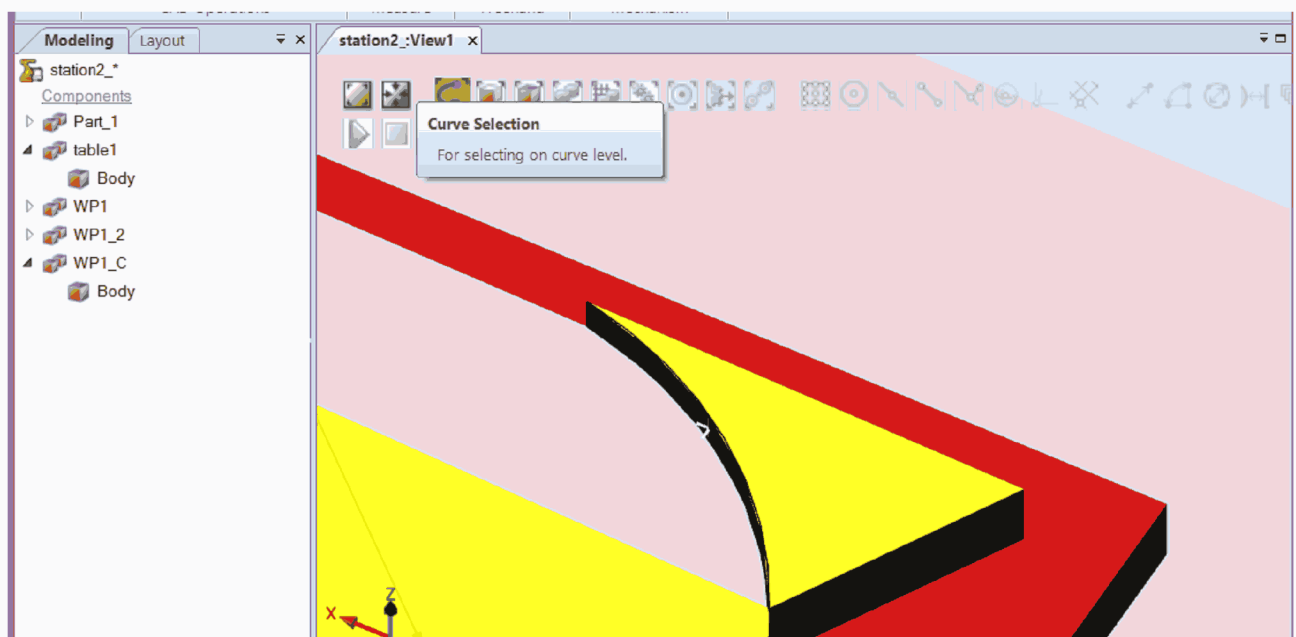


Рис. 44 Вибір інструменту «Curve Selection»

Виберіть «AutoPath» (Авто шлях) (Рис. 45):

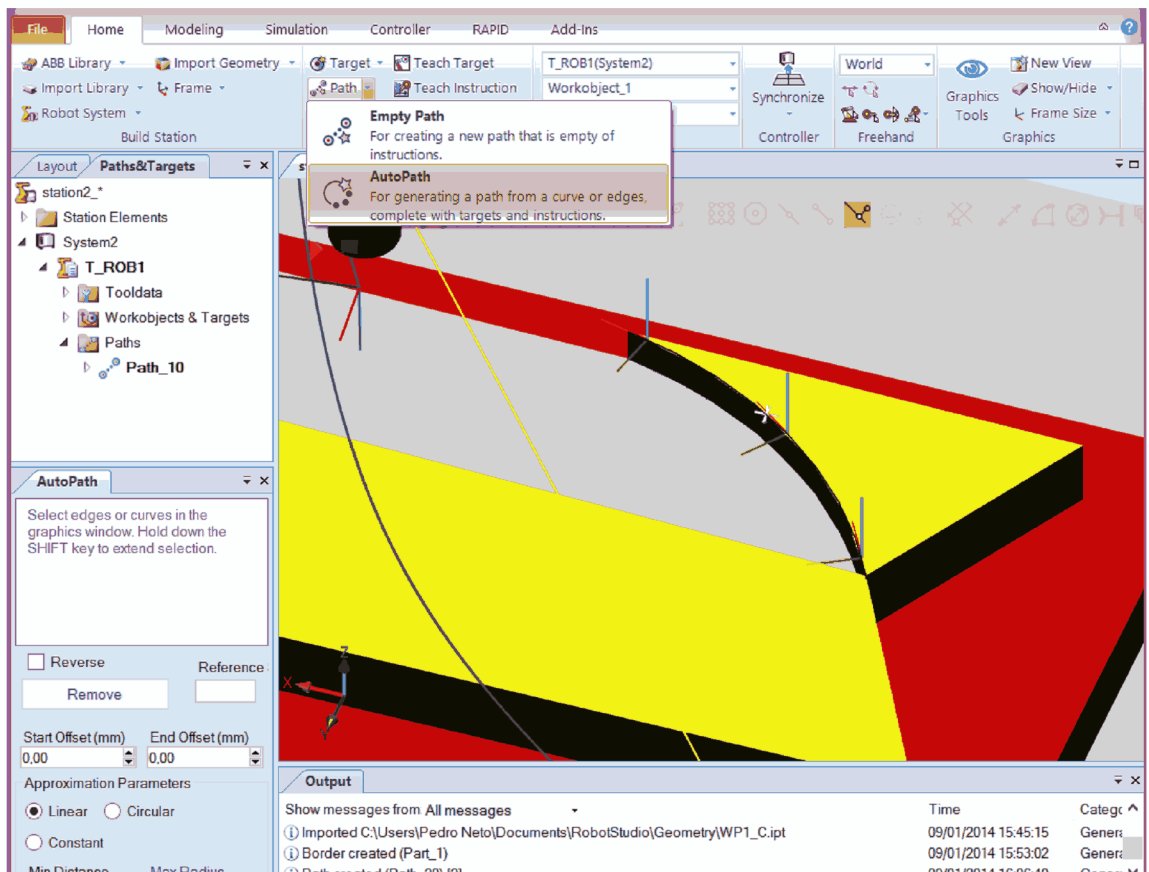


Рис. 45 Використання «AutoPath»

Та виберіть відстань між точками (Рис. 46-47):

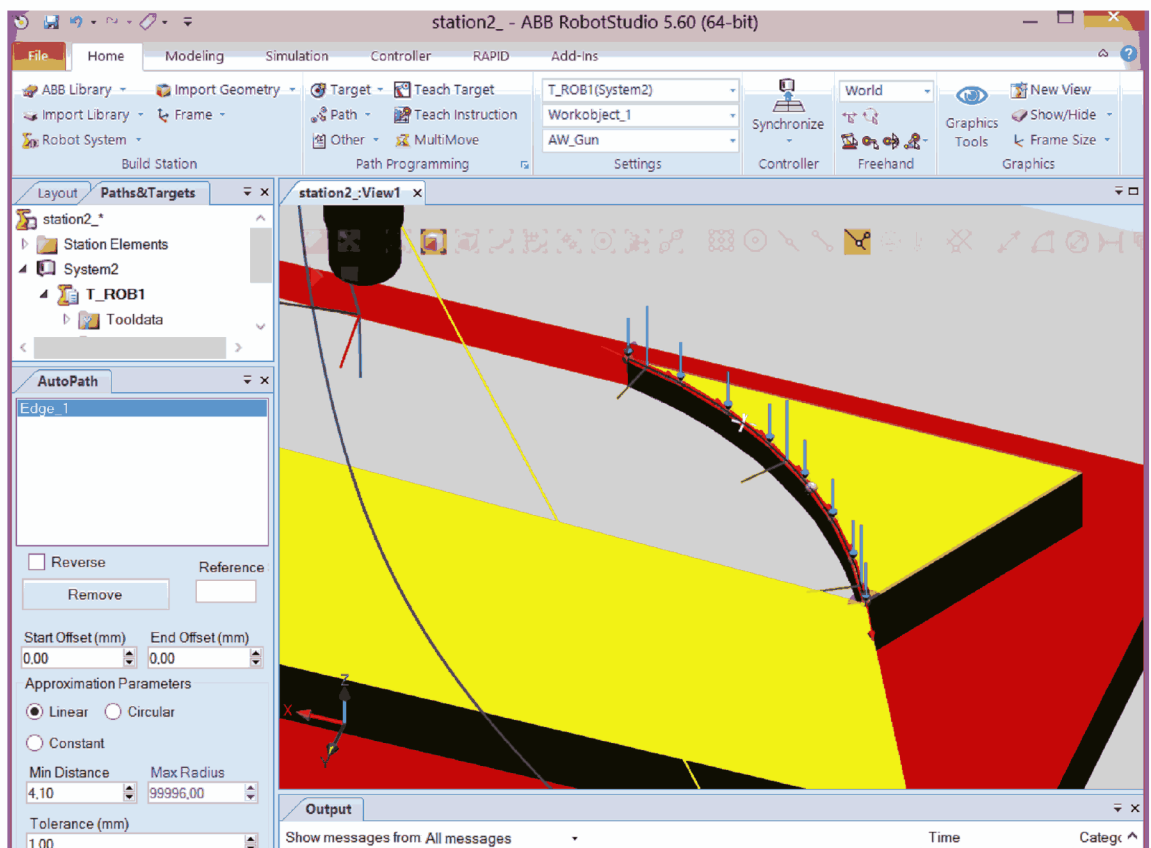


Рис. 46 Визначення відстані між точками кривої (Частина 1)

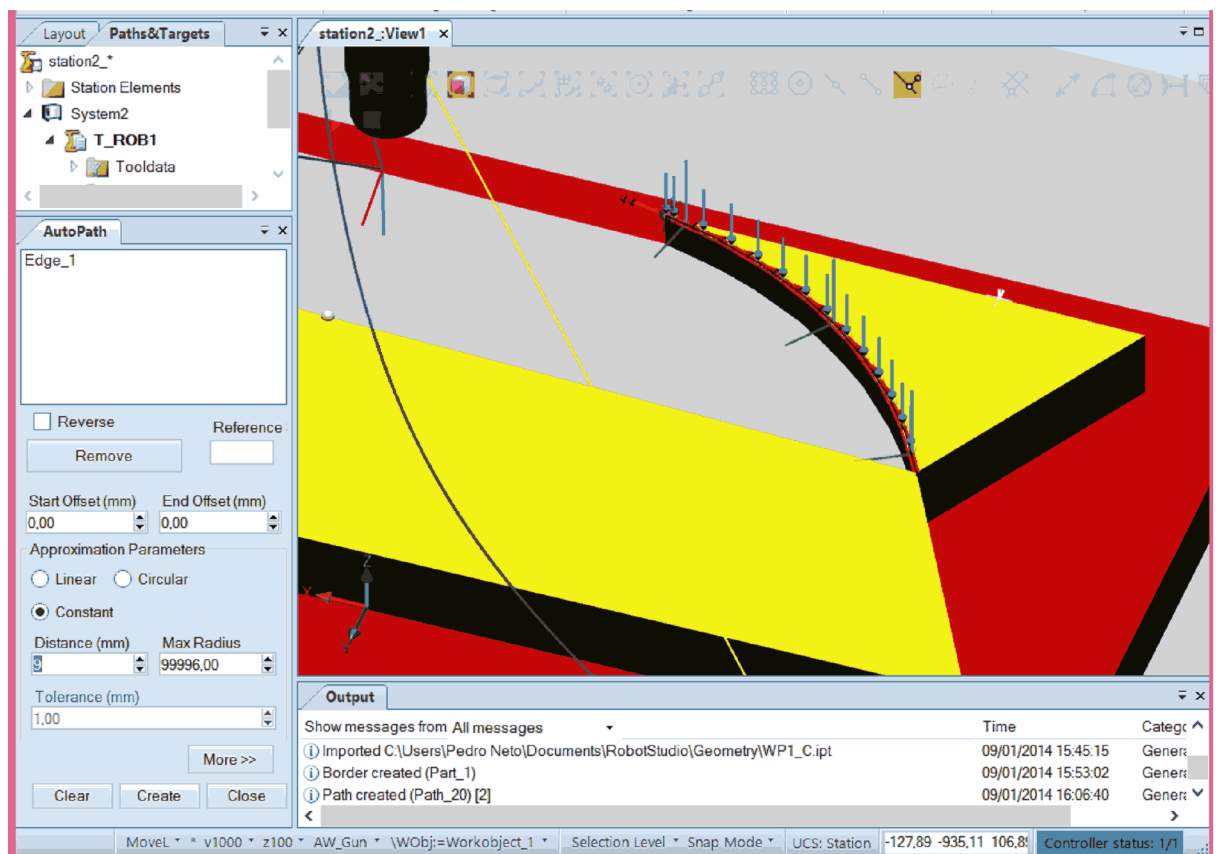


Рис. 47 Визначення відстані між точками кривої (Частина 2)

В результаті ми отримаємо базові точки для дугової траєкторії (Рис. 48):

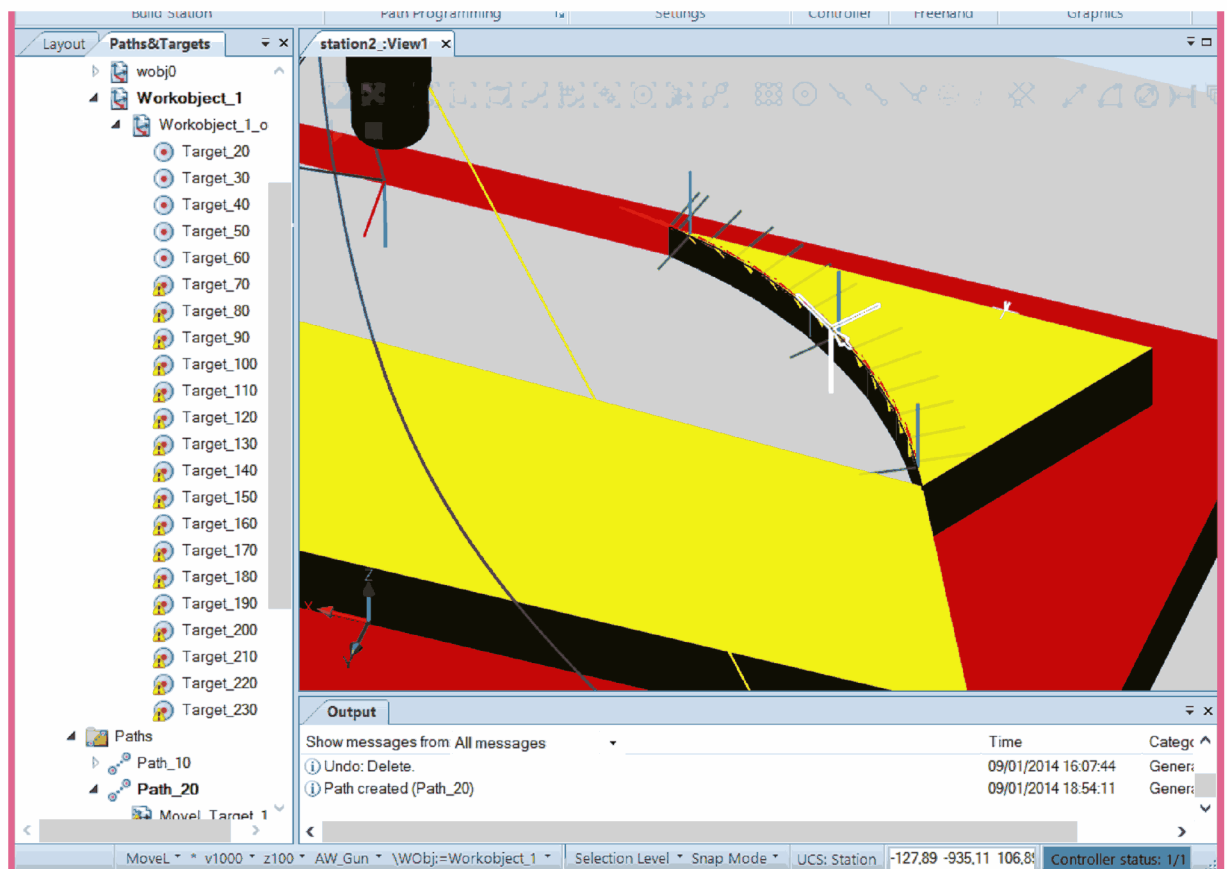


Рис. 48 Отримані точки дугової траєкторії



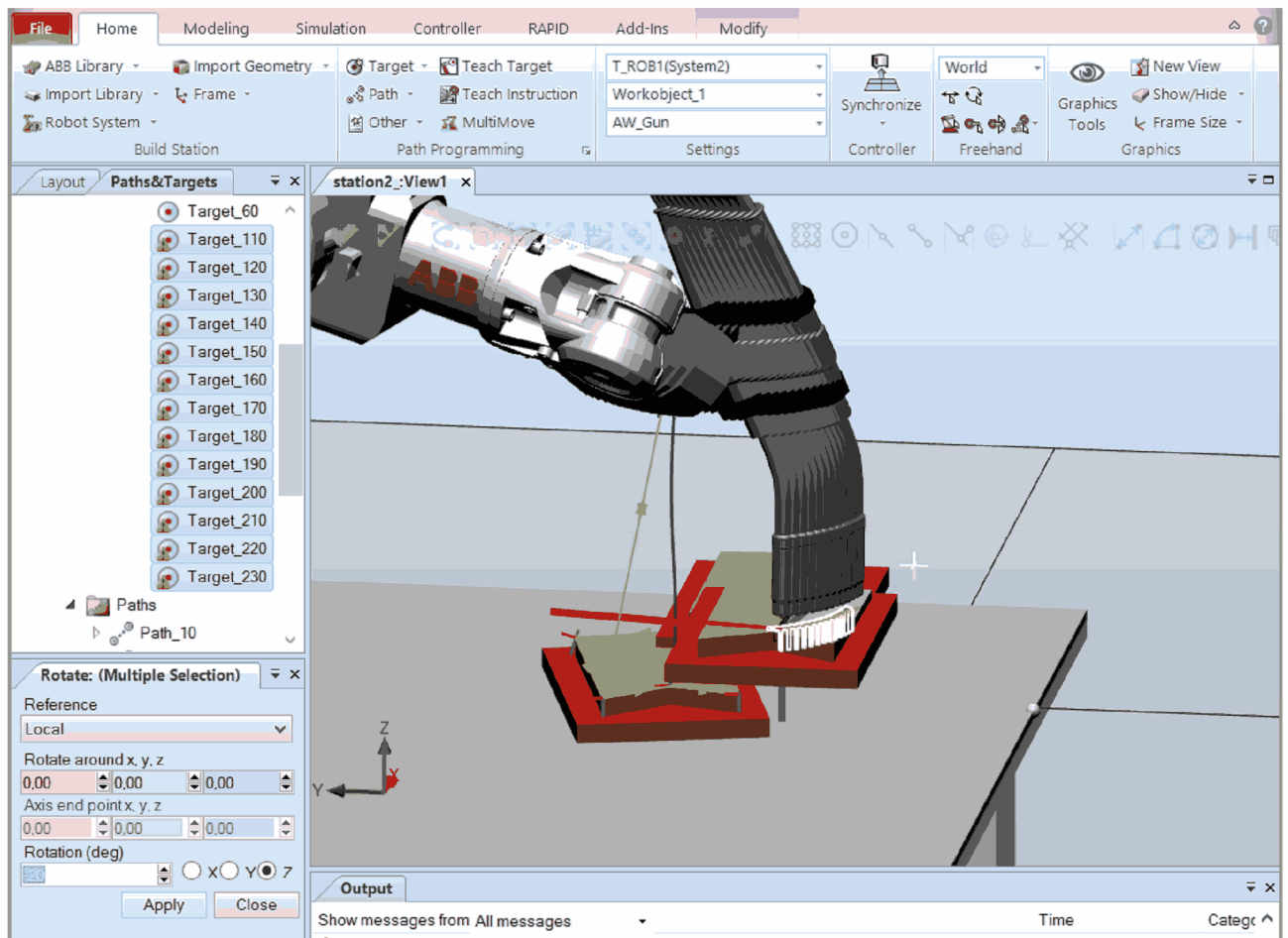


Рис. 49 Перевірка достовірності точок для робота

## 6. Хід роботи

1. Ознайомитися з теоретичним матеріалом з програмування в середовищі RobotStudio.
2. Отримати індивідуальний варіант заготовки, промислового робота та інструмента для виконання ним завдання в програмному середовищі RobotStudio.
3. Створення робочої станції за власним варіантом.
4. Програмування промислового робота із інструментом на виконання технологічної операції над об'єктом по прямолінійній траєкторії.
5. Перевірити роботу робототехнічної комірки та симулювати її роботу.
6. Програмування промислового робота із інструментом на виконання технологічної операції над об'єктом по дуговій траєкторії.
7. Перевірити роботу робототехнічної комірки та симулювати її роботу.
8. Провести контроль зіткнення для двох заготовок.
9. Після завершення виконання лабораторної роботи слід показати викладачу виконане завдання та оформити звіт.

## 7. Порядок оформлення звіту

*Звіт з лабораторної роботи повинен містити:*

1. Тему і мету.
2. Теоретичні відомості.
3. Результати виконання індивідуального завдання та послідовна інструкція його виконання за допомогою збережених зображень екрану.
4. Висновки.

## 8. Контрольні запитання

1. З чого починається створення робочої станції в програмному середовищі RobotStudio.
2. Як відкалібрувати положення робочого об'єкта на столі?
3. Створення workobject з початком координат в куті робочого об'єкта.
4. Як додати робочий об'єкт до віртуального контролера?
5. Створення шляху по прямолінійній траєкторії об'єкта.
6. Як калібрувати ланки промислового робота під час створення руху ПР?
7. Моніторинг відтворення траєкторії в програмному середовищі RobotStudio.
8. Що таке zonedata?
9. В якому розділі RAPID знаходиться основна програма?
10. Як зберегти програму на комп'ютер?
11. Як змінити швидкість руху промислового робота на певних ділянках траєкторії?
12. Що таке контроль зіткнень та для чого він необхідний?
13. Як створити дугову траєкторію?
14. Як змінювати кількість точок на дуговій траєкторії?

## Рекомендована література

1. International Federation of Robotics: ISO 8373 «Industrial robots - definition and classification»  
[https://ifr.org/img/office/Industrial\\_Robots\\_2016\\_Chapter\\_1\\_2.pdf](https://ifr.org/img/office/Industrial_Robots_2016_Chapter_1_2.pdf)
2. RobotStudio® Simulation of industrial automation processes and offline programming of ABBs robots - Practical guide for students - / Mocan B., Timoftei S., Stan A., Fulea M. // CLUJ-NAPOCA, 2017. – P. 140.
3. ABB, Technical reference manual RAPID Instructions, Functions and Data type, 3HAC 16581-1, 2017.
4. ABB, Operating Manual RoboStudio 6.05, 3HAC032104-001 Revision: T, 2017.

5. Energy efficiency analysis of the manipulation process by the industrial objects with the use of Bernoulli gripping devices / V. Savkiv, R. Mykhailyshyn, F. Duchon, M. Mikhalishin // *Journal of Electrical Engineering*. – 2017. – № 68 (6). – P. 496 – 502. – DOI: 10.1515/jee-2017-0087.
6. Chatraei A. Optimal Control of Robot Manipulators. / A. Chatraei, D.M.I.V. ZAda. – 2011.
7. Siciliano B. Springer Handbook of Robotics / B. Siciliano, O. Khatib. – Berlin : Springer, 2008. – P. 1631.
8. Михайлишин Р. І. Optimization of bernoulli gripping device's orientation under the process of manipulations along direct trajectory / Р.І. Михайлишин, Я. І. Проць, В.Б. Савків // *Вісник ТНТУ*. – Тернопіль, 2016. – Том 81. – №1. – С. 107 – 117.
9. Orientation Modeling of Bernoulli Gripper Device with Off-Centered Masses of the Manipulating Object / V. Savkiv, R. Mykhailyshyn, O. Fendo, M. Mykhailyshyn // *Procedia Engineering*. – 2017. – №187, P. 264 – 271.
10. Justification of Design and Parameters of Bernoulli-Vacuum Gripping Device / V. Savkiv, R. Mykhailyshyn, F. Duchon, O. Fendo // *International Journal of Advanced Robotic Systems*. – 2017. – № 14(6), DOI: 1729881417741740.
11. Experimental Research of the Manipulation Process by the Objects Using Bernoulli Gripping Devices / R. Mykhailyshyn, V. Savkiv, M. Mikhalishin, F. Duchon // *In Young Scientists Forum on Applied Physics and Engineering, International IEEE Conference*. – Lviv, 2017. – P. 8 – 11.
12. Механізація та автоматизація навантажувально-розвантажувальних робіт: Навчальний посібник, Ч.1: Транспортні та навантажувально-розвантажувальні засоби / За заг. ред. С.Л. Литвиненка .-К.: Кондор, 2016 .- 208 с.
13. Modeling of Bernoulli gripping device orientation when manipulating objects along the arc. / R. Mykhailyshyn, V. Savkiv, M. Mikhalishin, F. Duchon // *International Journal of Advanced Robotic Systems*. – 2018. – № 15(2), DOI: 1729881418762670.
14. Substantiation of Bernoulli Grippers Parameters at Non-Contact Transportation of Objects with a Displaced Center of Mass / R. Mykhailyshyn, V. Savkiv, F. Duchon, P. Maruschak, O. Prentkovskis // *22nd International Scientific Conference Transport Means 2018*. – Klaipeda, 2018. – P. 1370 – 1375.
15. Gasdynamic analysis of the Bernoulli grippers interaction with the surface of flat objects with displacement of the center of mass / V. Savkiv, R. Mykhailyshyn, F. Duchon // *Vacuum*. – 2019. – № 159, P. 524 – 533. – DOI: 10.1016/j.vacuum.2018.11.005.
16. Murray R.M. A mathematical introduction to robotic manipulation / R.M. Murray, Z. Li, S.S. Sastry // *CRC press*. – 1994. – P. 456.
17. Зенкевич С.Л. Основы управления манипуляционными роботами / С.Л. Зенкевич, А.С. Ющенко // *Основы управления манипуляционными роботами*. 2-е изд. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004. – 480 с.



18. Investigation of the energy consumption on performance of handling operations taking into account parameters of the grasping system / R. Mykhailyshyn, V. Savkiv, F. Duchon, V. Koloskov, I. Diahovchenko // 2018 IEEE 3rd International Conference on Intelligent Energy and Power Systems (IEPS) – IEEE, 2018. – P. 295 – 300. – DOI: 10.1109/ieps.2018.8559586.
19. Analysis of frontal resistance force influence during manipulation of dimensional objects / R. Mykhailyshyn, V. Savkiv, F. Duchon, V. Koloskov, I. Diahovchenko // 2018 IEEE 3rd International Conference on Intelligent Energy and Power Systems (IEPS) – IEEE, 2018. – P. 301 – 305. – DOI: 10.1109/ieps.2018.8559527.
20. Козырев Ю.Г. Захватные устройства и инструменты промышленных роботов / Ю. Г. Козырев. – Москва: КНОРУС, 2010. – 312 с.
21. Проць Я.І. Захоплювальні пристрої промислових роботів: навчальний посібник / Я.І. Проць – Тернопіль: Тернопільський державний технічний університет імені Івана Пулюя, 2008. – 232 с.
22. Михайлишин Р.І. Обґрунтування параметрів та орієнтації струминного захоплювача маніпулятора для автоматизації вантажно-розвантажувальних операцій: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.05.05 “Піднімально-транспортні машини” / Р.І. Михайлишин. – Тернопіль, 2018. – 21 с.
23. Михайлишин Р. І. Аналіз методів планування траєкторій маніпуляторів / Р.І. Михайлишин, В.Б. Савків // Збірник наукових праць «Перспективні технології та прилади» Луцький НТУ. – Луцьк, 2016. – №8 (1). – С. 61 – 69.
24. Justification of the object of manipulation parameters influence on the optimal orientation and lifting characteristics of Bernoulli gripping device / В.Б. Савків, Р.І. Михайлишин, Ф. Духон, М.С. Михайлишин // Вісник Херсонського національного технічного університету. – Херсон, 2017. – № 2 (61). – С. 98 – 104.
25. The analysis of influence of a nozzle form of the Bernoulli gripping devices on its energy efficiency / V. Savkiv, R. Mykhailyshyn, P. Maruschak, F. Duchon, L. Chovanec // Proceedings of ICCPT 2019, May 28-29, 2019. – Tern.: TNTU, Scientific Publishing House “SciView”, 2019. – P. 66–74. – DOI: 10.5281/zenodo.3387275.
26. Justification of Influence of the Form of Nozzle and Active Surface of Bernoulli Gripping Devices on Its Operational Characteristics / V. Savkiv, R. Mykhailyshyn, P. Maruschak, F. Duchon // TRANSBALTICA XI: Transportation Science and Technology. Lecture Notes in Intelligent Transportation and Infrastructure. – Springer, 2020. — P. 263–272. – DOI: 10.1007/978-3-030-38666-5\_28.
27. Rogowsky coil applications for power measurement under non-sinusoidal field conditions / I. Diahovchenko, R. Mykhailyshyn, D. Danylchenko, S. Shevchenko // Energetika. – 2019. – 65(1), P. 14 – 20. – DOI: 10.6001/energetika.v65i1.3972.

28. Analysis of Operational Characteristics of Pneumatic Device of Industrial Robot for Gripping and Control of Parameters of Objects of Manipulation / V. Savkiv, R. Mykhailyshyn, P. Maruschak, F. Duchon, O. Prentkovskis, I. Diahovchenko // TRANSBALTICA XI: Transportation Science and Technology. Lecture Notes in Intelligent Transportation and Infrastructure. – Springer, 2020. — P. 504–510. – DOI: 10.1007/978-3-030-38666-5\_53.
29. Optimization of design parameters of Bernoulli gripper with an annular nozzle / V. Savkiv, R. Mykhailyshyn, P. Maruschak, L. Chovanec, E. Prada, I. Virgala, O. Prentkovskis // Transport Means - Proceedings of the International Conference. – 2019. – P. 423-428.
30. Control of a small quadrotor for swarm operation / A. Trizuljak, F. Duchoň, J. Rodina, A. Babinec, M. Dekan, R. Mykhailyshyn // Journal of Electrical Engineering. – 70(1). – 2019. – P. 3-15. – DOI: 10.2478/jee-2019-0001.
31. Protection of Digital Power Meters Under the Influence of Strong Magnetic Fields / R. Mykhailyshyn, V. Savkiv, I. Diahovchenko, R. Olsen, D. Danylchenko // 2019 IEEE 2nd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering UKRCON-2019 – IEEE, 2019. – P. 314 – 320. – DOI: 10.1109/UKRCON.2019.8879985.
32. Research of Energy Efficiency of Manipulation of Dimensional Objects With the Use of Pneumatic Gripping Devices / R. Mykhailyshyn, V. Savkiv, I. Diahovchenko, F. Duchon, R. Trembach // 2019 IEEE 2nd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering UKRCON-2019 – IEEE, 2019. – P. 527 – 532. – DOI: 10.1109/UKRCON.2019.8879957.