

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

БР.ПМІ-80.00.00.000.ПЗ

Група ПМІ-19-1

Кобилянська Ілона

Василівна

2023

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Інститут інженерної механіки

Кафедра: комп'ютеризованого машинобудування

Кобилянська Ілона Василівна

(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК 62-529

(індекс)

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

Розробка конструкції і системи керування лабораторного робота SCARA

(назва роботи)

Інженерія мехатронних систем

(назва освітньої програми)

131 – Прикладна механіка

(шифр і назва спеціальності)

Кобилянська І. В.

(підпис, ініціали та прізвище здобувача освітнього ступеня)

Науковий керівник Панчук В. Г., професор кафедри КМВ

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Допущено до захисту

Завідувач кафедри

професор _____ Панчук В. Г.

(посада) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Рецензент

(посада) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

(повне найменування закладу вищої освіти)

Інститут інженерної механіки

Кафедра комп'ютеризованого машинобудування

Освітній рівень бакалавр

Спеціальність 131 – Прикладна механіка

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри _____

В. Г. Панчук

« ____ » _____ 2023 року

З А В Д А Н Н Я НА БАКАЛАВРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ

Кобилянській Ілоні Василівні

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Розробка конструкції і системи керування лабораторного робота SCARA

керівник роботи Панчук В. Г., професор кафедри КМВ

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затвержені наказом закладу вищої освіти від “25” травня 2023 року № 204/7

2. Строки подання студентом роботи 20 червня 2023р.

3. Вихідні дані до роботи: технічна модель робота SCARA; середовище програми SolidWorks

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ 1. Технологічна частина. 2. Програмні середовища. 3. Конструкторська частина.

Висновки. Перелік використаних джерел. Додатки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

1 Складальне креслення – 1 лист А1. 2. Креслення деталей для 3Д друку – 1 лист А1, 2 листа

А3, 13 листів А4. 3. Специфікація – 2 листа А4.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Панчук В. Г., професор кафедри КМВ		

7. Дата видачі завдання 20 лютого 2023р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів бакалаврської роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітки
1	Загальна характеристика	01.03.2023	
2	Опис і конструкція навчального проекту	15.03.2023	
3	Проектна частина	05.04.2023	
4	Конструкторська частина	01.05.2023	
5	Захист бакалаврської роботи	27.06.2023	

Студент _____ Кобилянська І. В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ Панчук В. Г.
(підпис) (прізвище та ініціали)

“ ___ ” _____ 2023 р.

Реферат

Бакалаврська кваліфікаційна робота на тему: Розробка конструкції і системи керування лабораторного робота SCARA. Дана робота складається зі 59 аркушів. До неї входять 29 рисунків, 1 таблиця, 20 додатки. Для розрахунку роботи було використано 15 бібліографічних найменувань.

Об'єкт дослідження – конструкція робота SCARA

Предмет дослідження – дослідження та розробка конструкції та системи керування робота SCARA.

Мета роботи – детальне дослідження конструкції робота SCARA та виготовлення його прототипу

Основним завданням роботи є детальне дослідження конструкції робота SCARA та виготовлення його лабораторного прототипу, розробка та оптимізація програмного забезпечення для контролю та керування рухами робота SCARA. Оцінка його роботоздатності та можливостей.

Для досягнення цього завдання в технологічній частині було проведено дослідження та виготовлення прототипу робота SCARA. В процесі виконання було здійснено аналіз робототехніки та вивчено перший робот SCARA. Визначено призначення, види та класифікацію роботів SCARA, а також їх сфери застосування. Описано будову та принцип роботи, проаналізовано переваги та недоліки конструкції.

В пункті «Програмні середовища» були вивчені середовища, необхідні для реалізації проекту, зокрема Ultimaker Cura для 3D друку, програмне середовище Solidworks для моделювання та проектування прототипу робота, створення 3D-моделі робота, розрахунок необхідних параметрів та визначення оптимальних розмірів, середовище розробки Arduino IDE для плати Arduino, а також RoboDK.

В рамках конструкторської частини було розроблено опис досліджуваної конструкції робота SCARA, визначено його кінематику. Здійснено імітаційне моделювання робота SCARA в програмному забезпеченні RoboDK.

Далі було перейдено до фази виготовлення прототипу. Для цього використовувався 3D-принтер, який дозволяв друкувати необхідні деталі з високою точністю.

Збірка розпочалась із складання та з'єднання компонентів, включаючи підключення датчиків, електроніки, включаючи мікроконтролер Arduino UNO та плату розширення A4988 3D CNC Shield v3.0. Для керування роботом було розроблено програмне забезпечення, яке визначало алгоритми руху та взаємодію зі середовищем.

Після завершення збірки прототипу, було проведено тестування для перевірки його роботоздатності та визначення можливостей.

В додатках наведено складальне креслення, креслення окремих деталей та специфікація.

Ключові слова: робототехніка, робот SCARA, 3D друк, моделювання, конструкція, кінематика, виготовлення прототипу, мікроконтролер, програмування.

Студентка Кобилянська І. В.

Summary

Bachelor's qualification work on the topic: Development of design and control system of a laboratory robot SCARA. This work consists of 59 pages. It includes 29 figures, 1 table, 20 appendices. The work is based on 15 bibliographic references.

Object of study - the design of the SCARA robot

The subject of the study is the research and development of the design and control system of the SCARA robot.

Purpose of the study - a detailed study of the design of the SCARA robot and the manufacture of its prototype

The main task of the work is a detailed study of the design of the SCARA robot and the manufacture of its laboratory prototype, development and optimisation of software for monitoring and controlling the movements of the SCARA robot. Evaluation of its performance and capabilities.

To achieve this objective, the technological part of the project involved the research and manufacture of a prototype of the SCARA robot. In the process, the first SCARA robot was analysed and studied. The purpose, types and classification of SCARA robots, as well as their areas of application, were determined. The structure and principle of operation are described, and the advantages and disadvantages of the design are analysed.

In the section "Software environments", we studied the environments necessary for the project, including Ultimaker Cura for 3D printing, Solidworks software environment for modelling and designing a robot prototype, creating a 3D model of the robot, calculating the required parameters and determining the optimal dimensions, Arduino IDE for the Arduino board, and RoboDK.

As part of the design part, a description of the SCARA robot design under study was developed, and its kinematics were determined. The SCARA robot was simulated in RoboDK software.

Next, we moved on to the prototype manufacturing phase. For this purpose, a 3D printer was used to print the necessary parts with high precision.

The assembly began with the assembly and connection of components, including the connection of sensors, electronics, including the Arduino UNO microcontroller and the A4988 3D CNC Shield v3.0 expansion board. To control the robot, software was developed to define movement algorithms and interaction with the environment.

After the prototype was assembled, testing was carried out to verify its performance and determine its capabilities.

The appendices contain an assembly drawing, drawings of individual parts, and a specification.

Keywords: robotics, SCARA robot, 3D printing, modelling, design, kinematics, prototyping, microcontroller, programming.

Student Kobylanska I. V.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	10
1 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	12
1.1 Робототехніка. Перший робот SCARA.....	12
1.2. Призначення роботів SCARA, їх види та класифікація.....	14
1.3. Сфери застосування роботів SCARA.....	16
1.4. Будова та принцип роботи	17
1.5. Переваги та недоліки конструкції	19
2. ПРОГРАМНІ СЕРЕДОВИЩА.....	21
2.1. 3Д друк. VERNERFAB. Ultimaker Cura.	21
2.2. Програмне середовище Solidworks	27
2.3. Плата Arduino. Середовище розробки Arduino IDE.	29
2.4. RoboDK	31
3. КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	33
3.1. Опис досліджуваної конструкції робота SCARA.....	33
3.2. Кінематика робота SCARA.....	36
3.3. Імітаційне моделювання робота в ПЗ RoboDK.....	42
3.4. Перелік комплектуючих робота	45
3.5. Виготовлення прототипу лабораторного робота.....	52
ВИСНОВКИ.....	56
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	58
ДОДАТКИ.....	59

					БР.ПМІ-80.00.00.000 ПЗ		
	Зм	№ Докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Кобілянська І. В.			Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Панчук В. Г.			9		
Рецензент					ІФНТУНГ ПМІ-19-1		
Затверд.		Панчук В.Г.					
Пояснювальна записка							

ВСТУП

Робототехніка у сучасному світі перетворюється з незвичайної на просту буденність завдяки швидкому технологічному прогресу. Промислові роботи стали невід'ємною складовою виробництва, забезпечуючи точність, ефективність та безпеку. Вони визволяють людей від фізичних навантажень, монотонних операцій та ризиків для здоров'я, проникаючи у всі галузі промисловості та маючи значний вплив на суспільство.

У цьому контексті виникає необхідність проведення досліджень та розробки промислових роботів, а також набуття навичок у їх створенні та моделюванні. Розвиток таких роботів є важливим завданням, що вимагає поєднання інженерних, програмних та інноваційних знань. Це дозволить максимально використовувати потенціал робототехніки і сприяти подальшому прогресу технологій у всіх сферах життя.

Актуальність теми. У сучасному світі робототехніка займає все більш важливе місце і відіграє ключову роль у промисловості, автоматизації процесів та побутових задачах. Одним з важливих напрямків у робототехніці є використання роботів SCARA, які володіють високою точністю та швидкодією у виконанні завдань. Тому вивчення конструкції та можливостей робота SCARA є актуальним завданням, яке може принести значний внесок у розвиток сучасних технологій. Результати дослідження та виготовлення прототипу робота SCARA мають практичне значення у багатьох сферах, сприяючи автоматизації виробничих процесів, поліпшенню якості виробництва та розширенню можливостей медицини, лабораторних досліджень та інших галузей. Потрібні знання та навички у робототехніці для успішного розвитку сучасного світу.

Метою даної дипломної роботи є детальне дослідження конструкції робота SCARA та виготовлення його прототипу. Результати цього дослідження сприятимуть розумінню принципів роботи SCARA, його можливостей та обмежень.

					БР.ПМІ-80.00.00.000 ПЗ	Арк.
						10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Об'єктом дослідження є конструкція робота SCARA. Вивчення його структури та складових деталей дозволить розкрити його можливості та особливості функціонування.

Предмет дослідження. Предметом дослідження є розробка та виготовлення прототипу робота SCARA. Цей процес передбачає аналіз компонентів, їх властивостей та використання спеціалізованого обладнання, зокрема 3D-принтерів.

Для досягнення поставленої мети використовувалися наступні методи дослідження: аналіз літературних джерел та інтернет-ресурсів, вивчення досліджуваної конструкції, моделювання та проектування за допомогою програмного забезпечення Solidworks, виготовлення деталей за допомогою 3D-принтера, збірка та тестування прототипу.

Наукова цінність отриманих результатів. Отримані результати дослідження робота SCARA мають наукову цінність, оскільки вони розкривають особливості його конструкції, принципи роботи та можливості застосування. Виявлені відмінності від відомих раніше моделей SCARA роботів дають змогу зробити внесок у розвиток цієї галузі технології.

Практичне значення отриманих результатів полягає в широкому спектрі застосувань робота SCARA в різних сферах. Його використання може бути корисним у промисловості, автоматизації виробничих процесів, медицині, лабораторних дослідженнях та інших галузях. Знання, отримані під час розробки та виготовлення прототипу, є необхідними для навчання та розвитку робототехнічних систем.

Отже, дана дипломна робота має актуальність у контексті розвитку робототехніки та дослідження роботів SCARA. Цей дослід є новим кроком у вивченні конструкції та можливостей роботів SCARA. Отримані результати дослідження мають як наукову, так і практичну цінність, оскільки вони сприяють розвитку технології та використанню роботів SCARA у різних галузях.

					БР.ПМІ-80.00.00.000 ПЗ	Арк.
						11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

1.1 Робототехніка. Перший робот SCARA

Робототехніка - це галузь, що вивчає проектування, будівництво та застосування роботів. Вона поєднує різні наукові дисципліни, такі як механіка, електротехніка, програмування та штучний інтелект. Та є однією з найбільш захоплюючих та інноваційних галузей сучасного технологічного світу. Вона вивчає та розробляє роботів, здатних автоматизувати різноманітні задачі і замінити людську працю в різних сферах діяльності. Роботи використовуються для виконання різноманітних завдань, які можуть бути складними, небезпечними або просто монотонними для людей. Одним із вражаючих досягнень в області робототехніки є поява першого робота SCARA.

SCARA (Selective Compliance Assembly Robot Arm) був розроблений у Японії в 1981 році та став першим роботом свого типу. Цей робот мав ряд особливостей, які зробили його вельми популярним та високо ефективним у виробничих процесах.



Рис. 1.1. – Перший робот SCARA

					БР.ПМІ-80.00.00.000 ПЗ	Арк.
						12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Основна конструкція робота SCARA полягає в наявності двох паралельно зчеплених шарнірів, які дозволяють роботу забезпечити високу жорсткість та стабільність у горизонтальній та вертикальній площинах. Ця конфігурація дозволяє роботу витримувати значні навантаження та забезпечує йому високу точність та повторюваність рухів.

Однією з основних переваг робота SCARA є його висока швидкість. Він може виконувати швидкі та точні рухи, що робить його ідеальним для завдань, пов'язаних зі збіркою, монтажем та упаковкою продукції. Крім того, завдяки своїй конструкції, SCARA робот може працювати в обмеженому просторі, що робить його особливо корисним у виробництві.

За останні роки робототехніка розвивається стрімкими темпами, і сучасні роботи SCARA стали ще більш вдосконаленими, здатними виконувати складні завдання з високою швидкістю та точністю. Вони стали невід'ємною частиною промислового виробництва та сприяють підвищенню його продуктивності та ефективності.

Одним з головних призначень перших роботів SCARA була збірка електронних компонентів на виробничій лінії. Вони здатні виконувати швидкі та точні рухи, що робило їх ідеальними для виконання монотонних та повторюваних операцій.

У підсумку, перший робот SCARA був важливим проривом у робототехніці. Він встановив нові стандарти у галузі промислової автоматизації та надав багато можливостей для виконання складних завдань. Його успіх стимулював подальший розвиток роботів SCARA та впровадження їх в різноманітні сфери діяльності.

					БР.ПМІ-80.00.00.000 ПЗ	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		13

1.2. Призначення роботів SCARA, їх види та класифікація

Роботи SCARA використовуються для різних завдань в промисловості та інших сферах. Вони призначені для заміни ручної праці, забезпечуючи високу точність, продуктивність та безпеку. Основні види роботів SCARA включають:

- Роботи для збірки та монтажу: Роботи SCARA використовуються для автоматизації процесів збірки та монтажу виробів. Вони можуть точно розміщувати деталі, збирати їх та виконувати складні операції монтажу.

- Роботи для обробки матеріалів: Роботи SCARA здатні виконувати різноманітні операції обробки матеріалів, такі як фрезерування, свердління, гравірування тощо. Вони можуть працювати з різними матеріалами, включаючи метали, пластмаси та дерево.

- Роботи для упаковки та палетизації: Роботи SCARA застосовуються для автоматизованої упаковки товарів, а також створення палет з продукцією. Вони здатні швидко та точно розміщувати товари на палетах згідно з заданими параметрами.

Роботи SCARA класифікуються за кількома критеріями:

Згідно з конфігурацією рухливих зв'язків, вони поділяються на плоскі та просторові. Плоскі роботи SCARA мають два рухові зв'язки, що дозволяють їм працювати в горизонтальній площині. Просторові роботи SCARA мають додатковий руховий зв'язок, що дозволяє їм працювати в тривимірному просторі.

За типом конструкції роботи SCARA можуть бути горизонтальними або вертикальними. Горизонтальні роботи SCARA мають горизонтальну базу та вертикальну рухому платформу, тоді як вертикальні роботи SCARA мають вертикальну базу та горизонтальну рухому платформу.

За кількістю ступенів свободи роботи SCARA можуть бути трьох- або чотирьохступеневими. Трьохступеневі роботи SCARA мають три обертових ступені свободи і одну лінійну, тоді як чотирьохступеневі роботи SCARA мають чотири обертових ступені свободи.

					БР.ПМІ-80.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

За навантаженням роботи SCARA можуть бути легкими, середніми або важкими. Це визначається максимальною вагою, яку робот може піднімати та переміщати.

За радіусом дії роботи SCARA можуть бути короткодійними, середньодійними або довгодійними. Це вказує на максимальну відстань, на яку робот може оперувати своєю рухомою платформою.

За класифікацією, роботи SCARA належать до категорії маніпуляційних роботів. Ця категорія включає роботи, призначені для руху та маніпулювання предметами, збирання, монтажу, пакування тощо. Роботи SCARA відрізняються високою точністю та повторюваністю рухів, що дозволяє їм ефективно виконувати завдання у промислових умовах.

					БР.ПМІ-80.00.00.000 ПЗ	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		15

1.3. Сфери застосування роботів SCARA

Роботи SCARA знайшли широке застосування в різних галузях промисловості. Деякі з них включають:

- **Автомобільна промисловість:** Роботи SCARA використовуються для виконання завдань зі збірки та монтажу автомобілів. Вони можуть точно розміщувати компоненти, встановлювати проводку та виконувати інші операції, що допомагають знизити час виробництва та покращити якість автомобілів.

- **Електроніка:** Роботи SCARA використовуються для збірки електронних пристроїв, таких як смартфони, комп'ютери та інші пристрої. Вони можуть точно розміщувати мікросхеми, паяти контакти та виконувати інші операції, які вимагають високої точності.

- **Харчова промисловість:** Роботи SCARA використовуються для автоматизації процесів упаковки та обробки харчових продуктів. Вони можуть розміщувати продукти в контейнери, розливати рідини та виконувати інші завдання, що сприяють ефективному та гігієнічному виробництву продуктів харчування.

- **Фармацевтична промисловість:** Роботи SCARA використовуються для автоматизації процесів упаковки, маркування та сортування фармацевтичних продуктів. Вони можуть працювати в умовах стерильності та забезпечувати високу точність та якість виробництва медичних препаратів.

- **Медицина:** Роботи SCARA знаходять застосування у проведенні хірургічних операцій, доставки медикаментів, виготовленні протезів та імплантатів, допомозі у реабілітації пацієнтів та інших процедурах. Висока точність та контроль руху роботів SCARA допомагає хірургам здійснювати складні операції з мінімальними пошкодженнями тканин.

- **3D-друк:** Роботи SCARA використовуються для нанесення шарів матеріалу та створення об'ємних моделей. Вони дозволяють виконувати швидкий та точний рух друкарської головки, що впливає на якість та швидкість друку.

					БР.ПМІ-80.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

1.4. Будова та принцип роботи

Робот SCARA є складною системою, яка включає ряд основних компонентів. Одним з них є рухові зв'язки, які забезпечують рухомість робота. Рухові зв'язки складаються з кількох сегментів, які можуть обертатися та рухатися у певних напрямках. Це дає роботу можливість виконувати різні види рухів та операцій.

Ще одним важливим компонентом робота SCARA є приводи. Приводи відповідають за керування рухом робота. Вони можуть бути реалізовані за допомогою різних технологій, таких як гідравліка, пневматика або електрика. Приводи генерують потрібні сили та рухи, щоб забезпечити роботу з необхідною точністю та швидкістю.

Контролер є мозком робота SCARA. Він отримує сигнали від сенсорів та інтерфейсів, обробляє їх та керує рухом робота. Контролер відповідає за координацію всіх компонентів робота і забезпечує синхронізацію їх роботи. Він виконує програми, які задають поведінку робота і дозволяють йому виконувати різні завдання.

Сенсори грають важливу роль у роботі SCARA. Вони вимірюють різні параметри, такі як положення, сила, температура та інші. Ці дані дозволяють роботу взаємодіяти з оточенням і забезпечують точність та безпеку роботи. Сенсори постійно моніторять стан робота та навколишнього середовища, що дозволяє вчасно реагувати на зміни і коригувати рухи робота.

Інтерфейси є ще одним важливим компонентом. Вони дозволяють підключати робота до зовнішніх пристроїв та систем. Це можуть бути різні інтерфейси, такі як USB, Ethernet або бездротові з'єднання. Інтерфейси забезпечують зв'язок робота зі зовнішнім світом, що розширює його можливості та функціональність.

Принцип роботи робота SCARA полягає в тому, що контролер отримує команди від оператора або програми. Він обробляє ці команди та передає відповідні сигнали до приводів. Приводи забезпечують необхідні рухи робота, виконуючи задані

					БР.ПМІ-80.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

команди. Сенсори постійно моніторять стан робота та навколишнього середовища, надсилаючи дані контролеру для подальшого аналізу та корекції руху.

Таким чином, робот SCARA складається з декількох основних компонентів, таких як рухові зв'язки, приводи, контролер, сенсори та інтерфейси. Взаємодія цих компонентів дозволяє роботу виконувати різноманітні завдання з високою точністю та ефективністю. Робот SCARA є важливим інструментом у багатьох галузях, таких як виробництво, автоматизація процесів та дослідження.

					БР.ПМІ-80.00.00.000 ПЗ	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		18

1.5. Переваги та недоліки конструкції

Конструкція робота SCARA має свої переваги і недоліки, які впливають на його ефективність та можливості. Нижче наведено огляд основних переваг і недоліків конструкції робота SCARA:

Переваги:

1. Висока точність: Робот SCARA забезпечує високу точність позиціонування і керування. Це дозволяє виконувати завдання з великою точністю і повторюваністю, що є важливим для деяких додатків, таких як монтаж електронних компонентів або мікрохірургічні операції.

2. Великий радіус дії: Робот SCARA має широкий радіус дії, що означає, що він може працювати з об'єктами на великій відстані від свого центру. Це робить його універсальним для застосування в різних областях, включаючи збірку, упаковку, лінійне розташування тощо.

3. Гнучкість і скорочений час налаштування: Робот SCARA має гнучку конструкцію, що дозволяє легко змінювати його робочі параметри і використовувати його для різних завдань. Крім того, завдяки швидкому часу налаштування, робот SCARA може ефективно пристосовуватися до змінних виробничих умов і вимог.

4. Компактність: Робот SCARA має компактну конструкцію, що дозволяє економити місце на робочій площі. Це особливо важливо для приміщень з обмеженим простором або виробничих ліній, де необхідно оптимізувати використання місця.

Недоліки:

1. Обмежена гнучкість у вертикальному напрямку: Робот SCARA має обмежену гнучкість у вертикальному напрямку, оскільки його зв'язок між сегментами обмежує рух у вертикальному напрямку. Це може бути недоліком у деяких додатках, де необхідний великий вертикальний діапазон руху.

					БР.ПМІ-80.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

2. Обмежена кількість вільних ступенів свободи: Робот SCARA має обмежену кількість вільних ступенів свободи, зазвичай два або три. Це означає, що він не є так гнучким як деякі інші конструкції роботів, такі як роботи з шести або багатьох ступенів свободи.

3. Обмежені можливості роботи зі складними формами: Робот SCARA може мати складності з роботою з об'єктами складної форми або з великою кількістю перешкод. Це пов'язано з його конструкцією і обмеженнями руху.

4. Висока ціна: Конструкція робота SCARA може бути витратною, особливо якщо використовуються високоякісні компоненти і технології. Це може бути фактором, що обмежує доступність і використання роботів SCARA в деяких додатках і галузях.

Незважаючи на деякі недоліки, конструкція робота SCARA залишається популярною і широко використовуваною в багатьох галузях завдяки своїм перевагам у високій точності, гнучкості та ефективності у виконанні завдань.

					БР.ПМІ-80.00.00.000 ПЗ	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		20

2. ПРОГРАМНІ СЕРЕДОВИЩА

2.1. 3D друк. VERNERFAB. Ultimaker Cura.

3D друк (або адитивне виробництво) - це процес створення фізичних об'єктів шар за шаром на основі цифрових моделей. У порівнянні з традиційним виробництвом, де матеріал знімається або видаляється зі сировини, 3D друк використовує додаткові матеріали, які наносяться на підкладку, утворюючи тривимірний об'єкт. Цей процес дає змогу створювати складні форми, які не здатні бути виготовлені іншими методами, і він знайшов широке застосування в багатьох галузях, включаючи прототипування, медицину, виробництво, дизайн тощо.

Один з популярних 3D-принтерів - VERNERFAB і3 2.1 - виробляється компанією VERNERFAB і володіє рядом особливостей та функцій, які роблять його привабливим для широкого кола користувачів. VERNERFAB і3 2.1 - це принтер з відкритими джерелами, що означає, що він базується на відкритому апаратному забезпеченні і програмному забезпеченні, що дозволяє користувачам модифікувати його та вдосконалювати згідно своїх потреб.

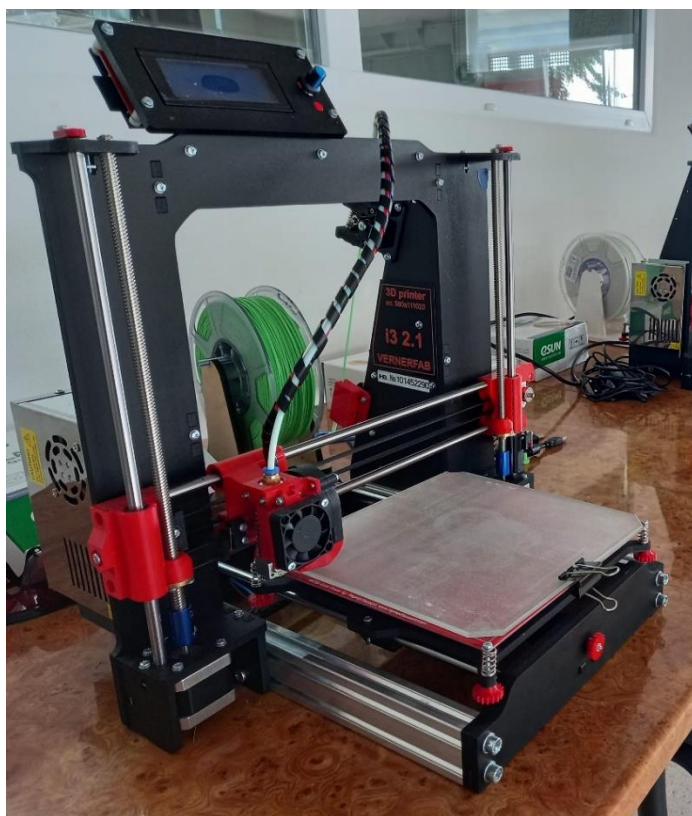


Рис. 2.1 - 3D-принтер VERNERFAB і3 2.1

					БР.ПМІ-80.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

Основні технічні характеристики VERNERFAB і3 2.1 включають:

1. Робоча область: VERNERFAB і3 2.1 має достатньо велику робочу область, яка визначає максимальні розміри об'єктів, які можуть бути роздруковані. Наприклад, робоча область даної моделі є 200x200x180 мм, що означає, що принтер може створювати об'єкти з максимальними розмірами 200 мм у напрямках X та Y та висотою 180мм.

2. Матеріали: VERNERFAB і3 2.1 здатен працювати з різними матеріалами, такими як пластик ABS, PLA, PETG, Nylon тощо. Це дає можливість вибрати матеріал, який найкраще відповідає вимогам проекту.

3. Друкарська головка: Принтер оснащений друкарською головкою, яка відповідає за нанесення матеріалу на підкладку. Деякі принтери мають можливість встановлення різних типів друкарських головок, що розширює можливості друку.

4. Точність і швидкість: VERNERFAB і3 2.1 може працювати з різною точністю і швидкістю друку, в залежності від вимог проекту. Вибір відповідних налаштувань дозволяє досягти бажаної якості друку.

5. Керування: VERNERFAB і3 2.1 у даному випадку контролюється за допомогою панелі на самому принтері (лише загальне керування), код пишеться за допомогою певних програм на комп'ютері або іншій пристрої та завантажується за допомогою флеш-карти. Це дозволяє користувачу налаштовувати параметри друку під час самого процесу друку.

Види пластику для 3D друку популярні в Україні:

- PLA (ПЛА) чи полілактид. Органічне і недовговічне. Підходить для 3D друку декоративних виробів, але не здатний витримувати великі механічні навантаження;

- ABS (АБС) або акрилонітрилбутадієнстирол. Має великий термін життя і відмінні механічні властивості. Термостійкий і застосовується у промислових цілях. Дає усадку при охолодженні. Рекомендується друкувати в приміщеннях, що провітрюються;

- PVA (ПВА) чи полівініловий спирт. Водорозчинний матеріал, який використовується як підтримка;

					БР.ПМІ-80.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

- Nylone (Нейлон). Альтернатива ABS-пластику підходить для багатьох інженерних конструкцій. При друкуванні нейлоном приміщення рекомендується провітрювати;

- HIPS (Ударостійкий полістирол). За фізичними властивостями – щось середнє між PLA та ABS. При друку також може давати токсичні випаровування.

Після вибору 3D-принтера та філаменту, для підготовки файлів для друку використовується програмне середовище Ultimaker Cura. Ultimaker Cura - це потужна і популярна програма для підготовки файлів для 3D друку. Вона надає широкий спектр функцій, що допомагають оптимізувати друкарський процес і забезпечують високу якість друку.

Основні особливості та функції Ultimaker Cura включають:

1. Імпорт та підготовка моделей: Ultimaker Cura підтримує різні формати файлів моделей і дозволяє імпортувати їх для підготовки до друку. Програма також надає інструменти для обрізання, масштабування, повороту та редагування моделей перед друком.

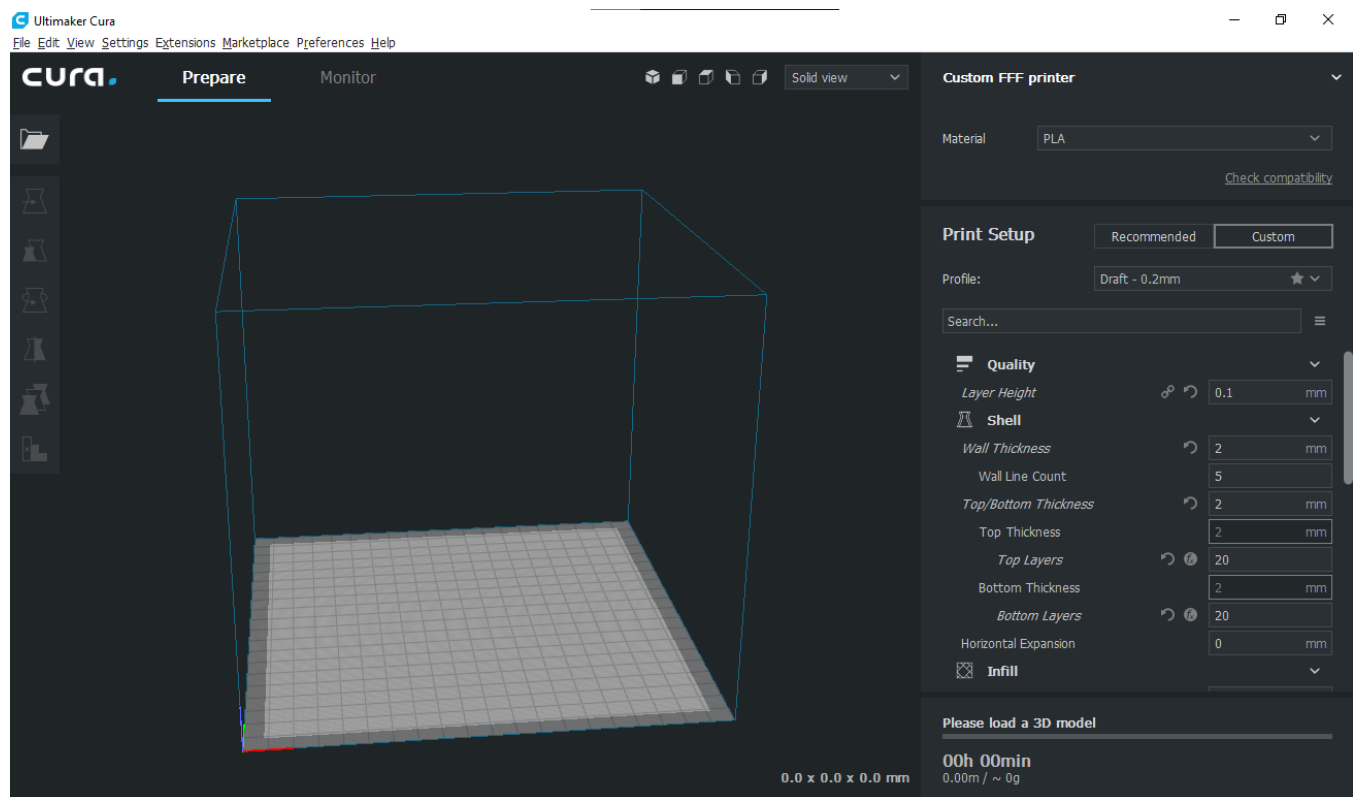
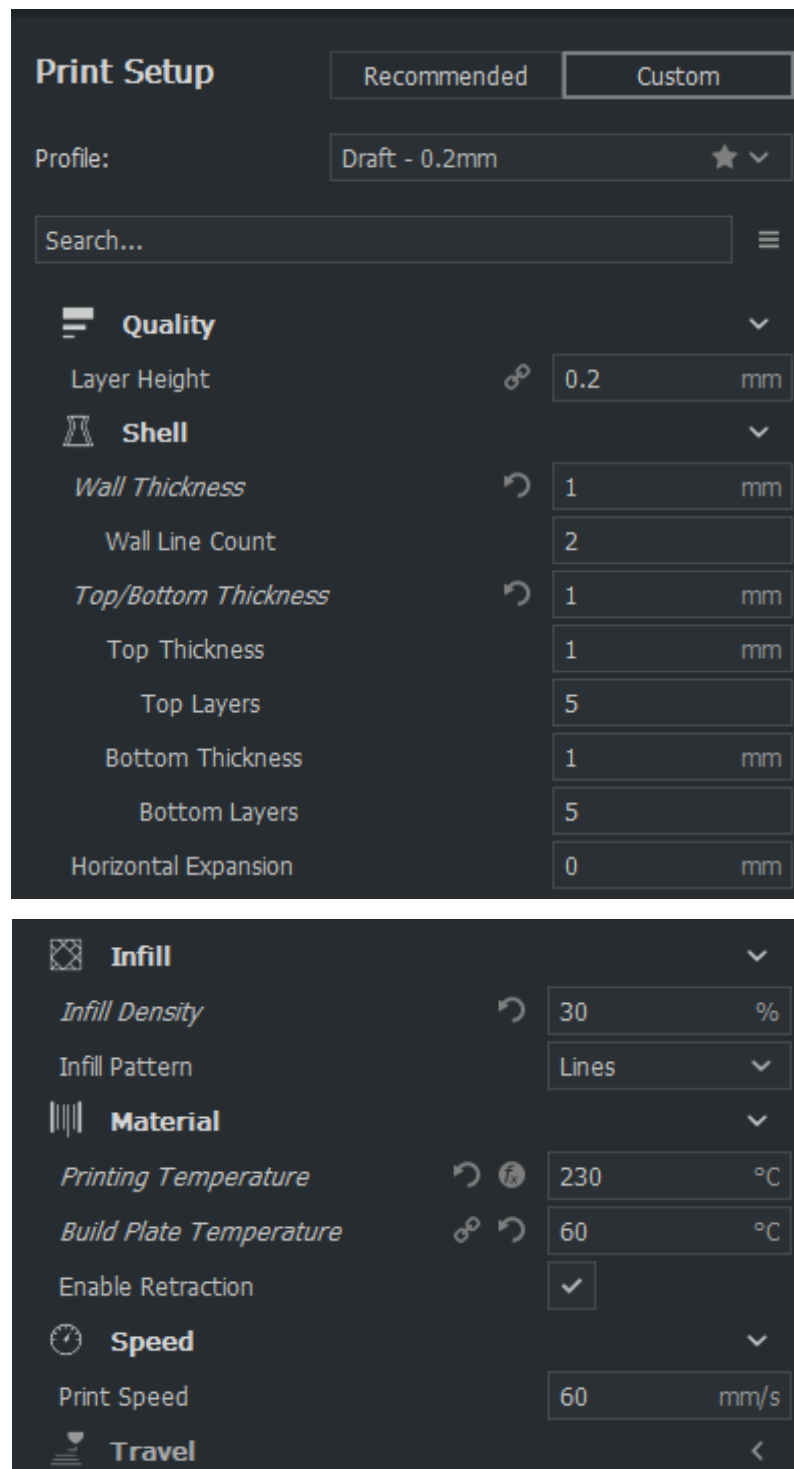


Рис. 2.2. – Головний екран Ultimaker Cura

					БР.ПМІ-80.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

2. Налаштування параметрів друку: Ultimaker Cura дозволяє користувачам налаштовувати різні параметри друку, такі як швидкість друку, товщина шару, заповнення, підтримка та багато іншого. Це дозволяє досягти бажаної якості друку залежно від потреб проекту.



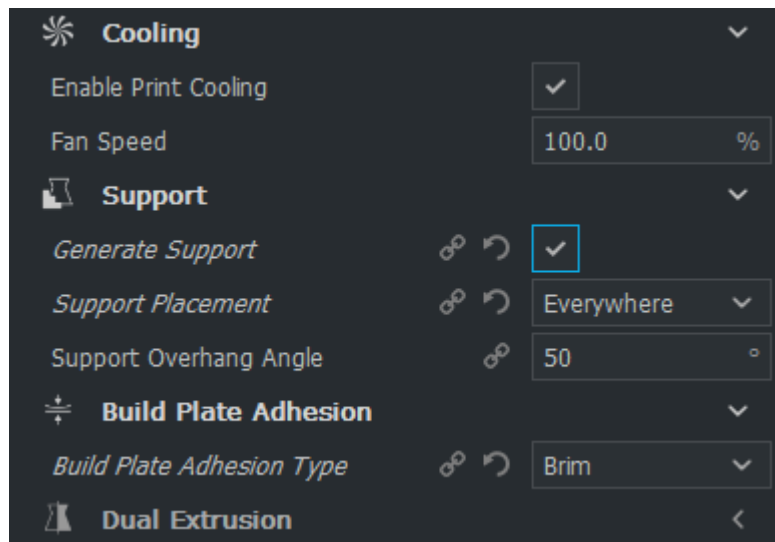
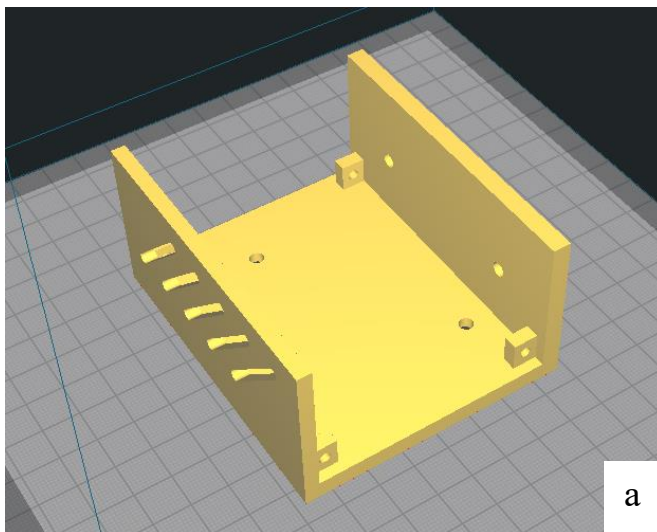
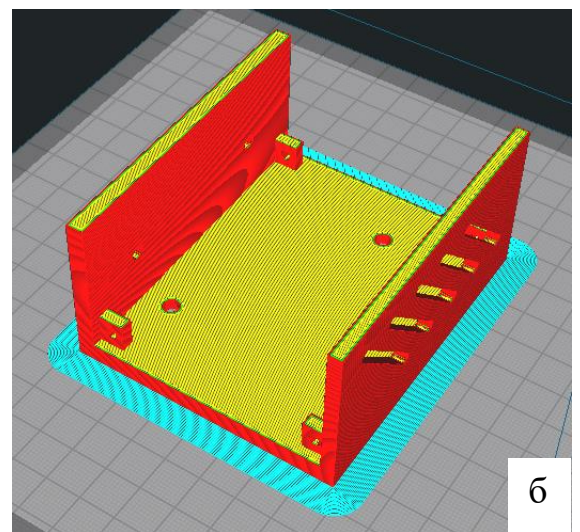


Рис. 2.3. - Налаштування параметрів друку в Ultimaker Cura

3. Перегляд перед друком: Ultimaker Cura надає візуалізацію моделі перед друком. Користувач може переглядати модель у тривимірному вигляді, а також аналізувати шари друку, підтримки та інші елементи, щоб впевнитися, що все налаштовано належним чином.



а



б

Рис. 2.4. – Перегляд моделі: а) перегляд у тривимірному вигляді; б) перегляд шарів друку

4. Генерація G-коду: Ultimaker Cura перетворює підготовлену модель на G - код - мову, яку розуміють 3D-принтери. G -код містить інструкції для принтера щодо руху друкарської головки, швидкості, температури тощо. Готовий G -код можна зберегти на SD-картку.

```

;FLAVOR:Marlin
;TIME:14822
;Filament used: 16.5088m
;Layer height: 0.2
;Generated with Cura_SteamEngine 3.6.0
M140 S60
M105
M190 S60
M104 S230
M105
M109 S230
M82 ;absolute extrusion mode
G28 ;Home
G1 Z15.0 F6000 ;Move the platform down 15mm
;Prime the extruder

```

Рис. 2.5. – Частина G-коду створеного Ultimaker Cura

5. Підтримка різних принтерів: Ultimaker Cura підтримує велику кількість різних моделей 3D-принтерів, включаючи VERNERFAB і3 2.1.

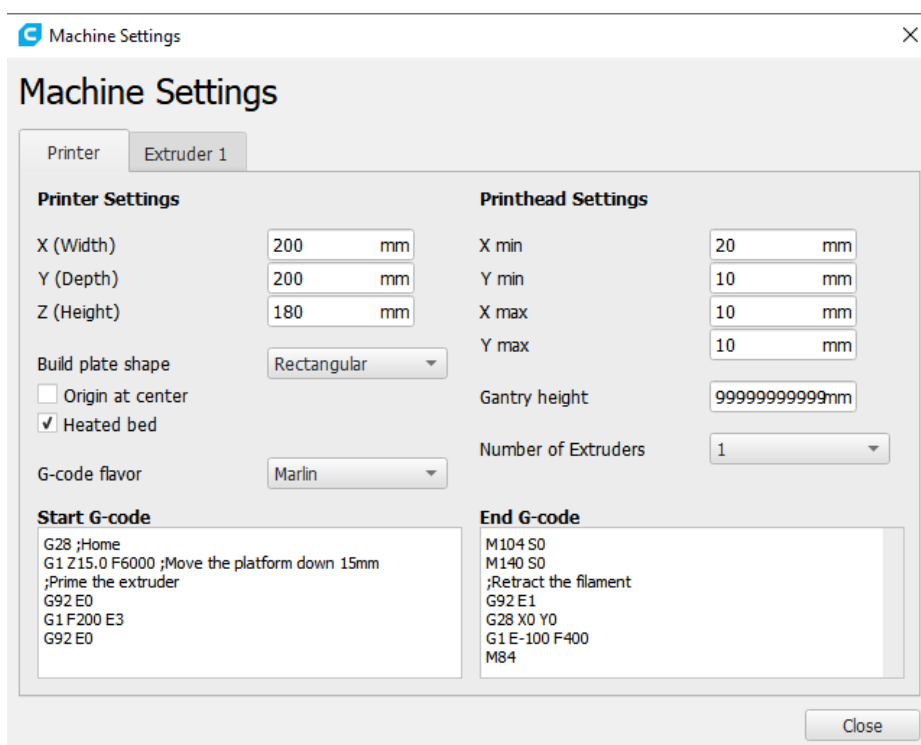


Рис. 2.6. – Налаштування принтера в Ultimaker Cura

2.2. Програмне середовище Solidworks

Програмне середовище Solidworks є одним з найпопулярніших і потужних інструментів для тривимірного моделювання, проектування та інженерного аналізу. Розроблене компанією Dassault Systèmes, Solidworks забезпечує широкий набір функцій і інструментів для створення складних 3D-моделей, виконання розрахунків та створення технічної документації.

Solidworks дозволяє користувачам створювати тривимірні моделі за допомогою різних інструментів і методів. Це включає створення базових геометричних форм, комбінування їх, додавання деталей і збірок, а також використання булевої логіки для проведення операцій над моделями. Користувачі можуть точно налаштовувати параметри об'єктів і використовувати вбудовані інструменти для контролю за їхніми властивостями і розмірами.

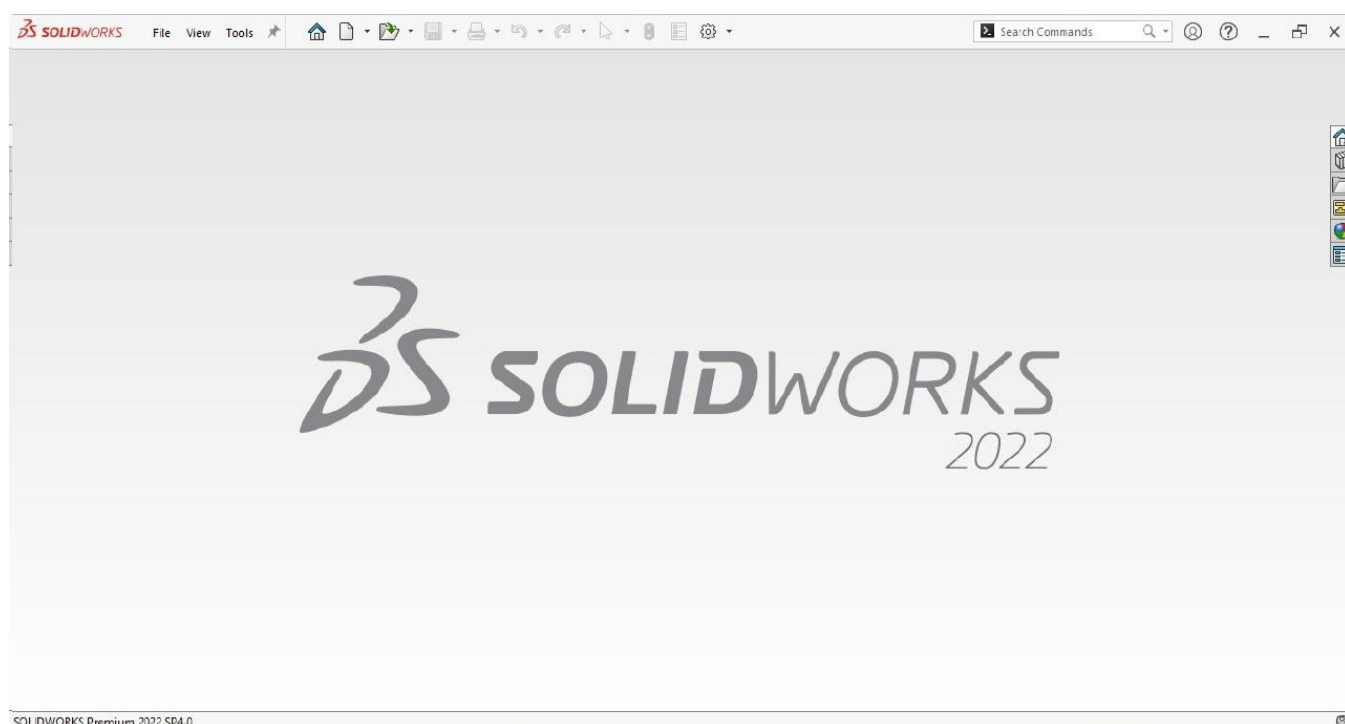


Рис. 2.7. – Головний екран програмного середовища Solidworks

Одна з ключових функцій Solidworks - це можливість проводити різні види інженерного аналізу. За допомогою програмного середовища можна виконувати міцнісні розрахунки, теплові симуляції, гідродинамічний аналіз та інші види

					БР.ПМІ-80.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

симуляцій. Це дозволяє інженерам передбачати поведінку об'єктів в реальних умовах та вносити вдосконалення та оптимізацію конструкції перед фізичним виробництвом.

Solidworks також надає інструменти для створення технічної документації, яка включає креслення, специфікації, зведені таблиці та інші види документів. Це дозволяє інженерам зручно документувати проект та передавати необхідну інформацію для виробництва або спілкування з іншими учасниками проекту.

Solidworks також підтримує інтеграцію з іншими програмними системами. Це дозволяє зручно обмінюватись даними між Solidworks та іншими програмами для аналізу, системами управління даними, програмами для створення реалістичних візуалізацій та іншими інструментами. Інтеграція забезпечує зручну роботу з даними та співпрацю з іншими фахівцями у проекті.

Загальна мета використання програмного середовища Solidworks у даній дипломній роботі полягала у досягненні точності, ефективності та високої якості у процесі проектування та моделювання об'єкта перед його виготовленням за допомогою 3D друку. Solidworks надавав необхідні інструменти для створення складних 3D-моделей та створення технічної документації.

					БР.ПМІ-80.00.00.000 ПЗ	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		28

2.3. Плата Arduino. Середовище розробки Arduino IDE.

Сьогодні електроніка та програмування є дуже популярними сферами, де люди можуть реалізувати свої ідеї та творчий потенціал. Для початківців виникають питання, з чого почати і які засоби користуватись для реалізації своїх проєктів.

Плата Arduino - це мікроконтролер з вбудованим процесором, вхідними-вихідними портами та пінами для підключення різноманітних пристроїв. Ця плата є доступною та простою у використанні. З її допомогою можна реалізувати різноманітні проєкти, від простих світлодіодних маячків до складних систем автоматизації будівель або роботів.

Arduino має велику спільноту користувачів, що розробляє нові бібліотеки та додаткові модулі, що розширюють його можливості. Існує безліч ресурсів, форумів та посібників, які допомагають новачкам зрозуміти, як користуватись платою та вирішити проблеми, що виникають у процесі розробки.

Arduino IDE - це спеціалізоване програмне забезпечення, створене для написання та відлагодження програм для плат Arduino. Це зручне середовище надає користувачеві усі необхідні інструменти для програмування мікроконтролера. Його простий інтерфейс і вбудовані приклади коду допомагають користувачам зрозуміти, як працюють різні функції та як їх використовувати у своїх проєктах.

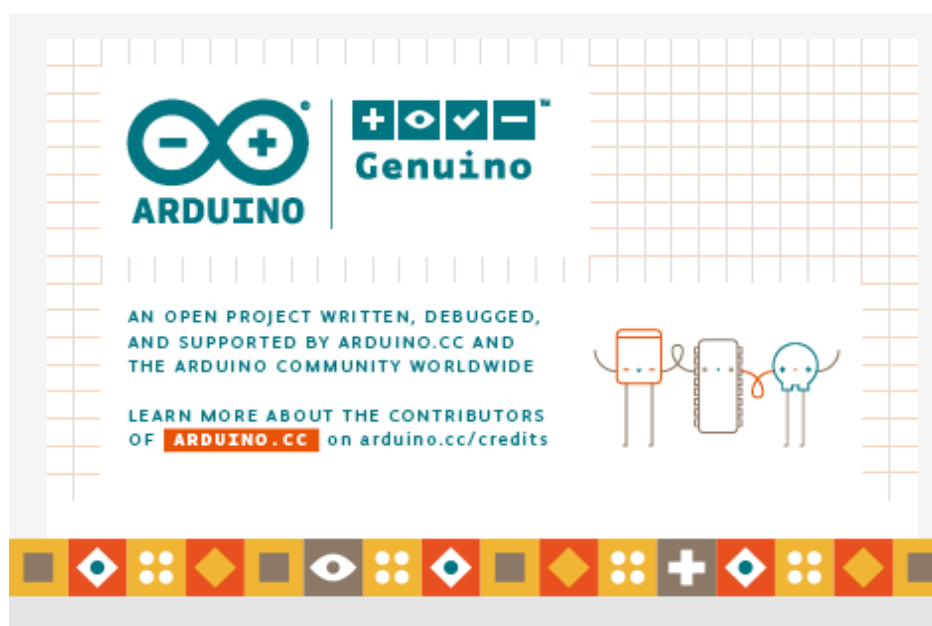


Рис. 2.8. - Arduino IDE

Arduino базується на принципі "відкритого апаратного забезпечення", що означає, що схеми та дизайни плати доступні для вільного використання та модифікації. Це дає можливість розробникам створювати власні варіанти плати Arduino або використовувати готові моделі, які вже існують на ринку.

Плата Arduino має роз'єми для підключення різних пристроїв і сенсорів, таких як світлодіоди, датчики температури, акселерометри, заслонки, реле тощо. Вона також має можливість взаємодії з комп'ютером через порт USB, що дозволяє завантажувати програми на плату та здійснювати моніторинг та керування проектами.

Arduino підтримує мову програмування Wiring, яка базується на мові C/C++. Це дозволяє розробникам писати програми для керування пристроями та виконання різних завдань. Вона також має вбудовану бібліотеку функцій, яка спрощує взаємодію з різними пристроями та сенсорами.

Arduino IDE підтримує різні версії плат Arduino, включаючи оригінальні плати від Arduino, а також сумісні плати від інших виробників, такі як ESP8266, ESP32, STM32 та інші. Це робить Arduino IDE універсальним інструментом для розробки проектів з використанням різних плат мікроконтролерів.

Узагальнюючи, плата Arduino та середовище розробки Arduino IDE - це потужні інструменти для створення проектів з використанням мікроконтролерів. Вони надають зручний інтерфейс, багатофункціональність та підтримку великої спільноти. Завдяки їм розробники можуть втілювати свої ідеї в реальність і створювати різноманітні електронні проекти.

					БР.ПМІ-80.00.00.000 ПЗ	Арк.
						30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.4. RoboDK

Від автоматизації виробничих процесів до розробки роботів, програмне середовище RoboDK забезпечує широкий спектр функціональних можливостей. Це програмне забезпечення дозволяє інженерам та розробникам створювати віртуальні моделі роботів та програмувати їх в автоматичному режимі.

Розробники можуть легко інтегрувати RobotDK з різноманітними робототехнічними системами, такими як KUKA, ABB, Fanuc, Mitsubishi та інші. Це дозволяє розробникам працювати з різними роботами та робототехнічними системами без необхідності вивчати різні програмні інтерфейси.

Однією з основних переваг RoboDK є його інтуїтивний інтерфейс користувача. Це дозволяє інженерам та розробникам швидко створювати віртуальні моделі роботів та програми, що керують рухом роботів. Завдяки цьому розробники можуть зосередитись на створенні функціональних програм, а не витратити час на вивчення складних програмних інтерфейсів.

RoboDK також дозволяє розробникам відлагоджувати та тестувати свої програми перед їх виконанням на реальних роботах. Завдяки вбудованим функціям симуляції, розробники можуть перевірити правильність своїх програм без необхідності використання реальних роботів. Це дозволяє економити час та кошти на тестуванні та відлагодженні програм.

RoboDK також надає розробникам можливість імпортувати та експортувати файли з різноманітних форматів, таких як CAD-моделі, файлів програмного забезпечення для роботів та інші. Це дозволяє працювати з різноманітними форматами даних та інтегрувати їх у свої проекти.

RoboDK також має вбудовану бібліотеку програмних модулів, що дозволяє створювати складні програми для керування рухом роботів. Ці програмні модулі можуть бути легко інтегровані в програми для керування рухом роботів, що дозволяє створювати програми з високою точністю та ефективністю.

					БР.ПМІ-80.00.00.000 ПЗ	Арк.
						31
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Усі ці переваги RoboDK роблять його потужним інструментом для розробки програмного забезпечення для роботів. Його інтуїтивний інтерфейс користувача, можливості симуляції та імпорту та експорту файлів роблять його ідеальним інструментом для розробки програмного забезпечення для будь-яких проектів з роботами.

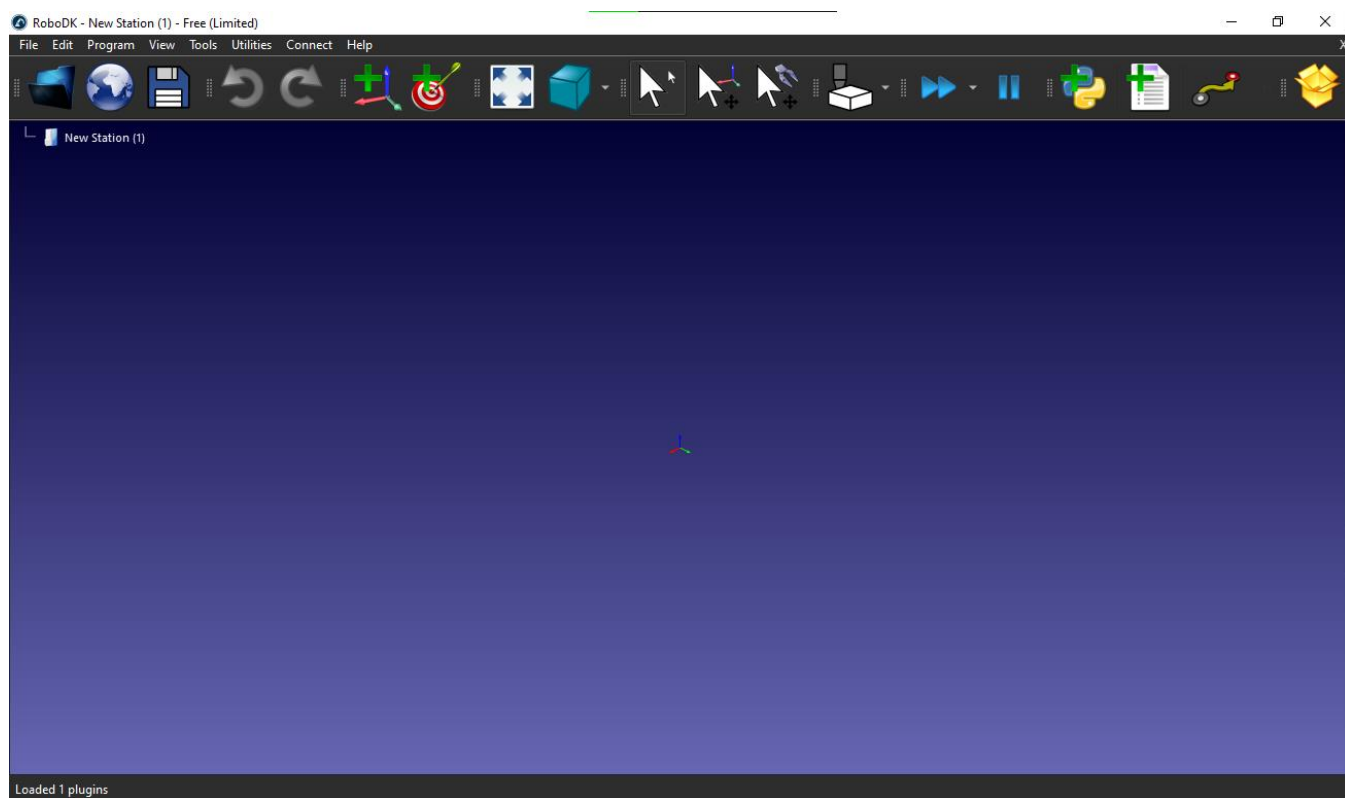


Рис. 2.9. - Головний екран програмного середовища RoboDK

					БР.ПМІ-80.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

3. КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1. Опис досліджуваної конструкції робота SCARA

Один зі складових елементів робота SCARA - це його конструкція, яка забезпечує рухові можливості та функціональність.

Особливістю даної конструкції робота є те, що рух по осі Z здійснюється декількома ланками, розташованими в декілька разів. Конструкція робота складається з чотирьох ланок, які взаємодіють між собою для забезпечення потрібного руху.

Базова ланка фіксує робота та забезпечує стабільну платформу для руху інших ланок. На ній розміщений кроковий двигун з пасовою передачею, який керує обертанням другої ланки, на якій знаходяться всі інші ланки. Це дозволяє обертати всю конструкцію робота. Друга ланка відповідає за рух по осі Z. Вона має механізм з гладкими стрижнями та ходовим гвинтом. Крім того, на другій ланці розташований кроковий двигун, який здійснює обертання гвинта та забезпечує поступальний рух по осі Z.

Гвинт на другій ланці з'єднаний з кроковим двигуном за допомогою муфти 5 на 8. Ця муфта встановлена на валу крокового двигуна і забезпечує жорстке з'єднання з гвинтом. Коли кроковий двигун починає обертатися, муфта передає цей рух на гвинт.

При обертанні крокового двигуна, гвинт починає виконувати поступальний рух. Гвинт з'єднаний з гайкою, яка закріплена на третій ланці. Під час обертання гвинта, гайка, яка пов'язана з гвинтом, переміщується вгору або вниз вздовж гвинта. Це викликає відповідний рух ланок вздовж осі Z.

Таке з'єднання гвинта з кроковим двигуном через муфту дозволяє точно та контрольовано забезпечувати рух ланок по осі Z.

На третій ланці розташовані двигун та три шківів, які взаємодіють між собою. Перший шків знаходиться на валу крокового двигуна. Другий шків з'єднаний з першим шківом за допомогою першого пасу, а третій шків з'єднаний з другим

					БР.ПМІ-80.00.00.000 ПЗ	Арк.
						33
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

шківом за допомогою другого пасу. Передача руху відбувається таким чином: коли кроковий двигун починає обертатися, рух передається від першого шківів до другого через перший пас, а потім від другого шківів до третього через другий пас. Це призводить до обертання муфти, яка знаходиться на третьому шківів, на кінці ланки.

Четверта ланка прикріплена до муфти на третій ланці. Коли муфта обертається, рух передається на 4-ту ланку. Ця ланка з укороченим кроковим двигуном, що спрощує конструкцію робота та робить його легшим. Вона має свою внутрішню систему пасової передачі руху, який передається на муфту, що знаходиться на кінці 4-ї ланки.

До муфти може бути закріплений кінцевий ефектор. Її обертання викликати обертання кінцевого ефектора, що дозволить змінювати орієнтацію інструменту.

Ця муфта на 4 ланці дозволяє здійснювати різноманітні завдання та функції залежно від прикладеного ефектора. Наприклад, ефектор може бути захоплюючим пристроєм для підняття та переміщення об'єктів, інструментом для обробки матеріалів або будь-яким іншим пристроєм, необхідним для виконання конкретної роботи.

Завдяки наявності муфти на 4 ланці, конструкція робота SCARA набуває більшої гнучкості та адаптивності. Вона може легко змінювати свої функції та завдання шляхом заміни або закріплення різних ефекторів до муфти. Це робить робота універсальним інструментом, який може використовуватись у різних сферах

Двигуни, які забезпечують рух робота, підключені до Arduino за допомогою плати розширення та драйверів A4988 3D CNC Shield v3.0. Arduino відправляє сигнали на кожен з двигунів, що зумовлює їх рух у потрібному напрямку. Крокові двигуни дозволяють керувати рухом з високою точністю та стабільністю.

Завдяки вбудованим кінцевим датчикам, конструкція робота SCARA може контролювати своє положення та уникати виходу за межі дозволеного діапазону. Це забезпечує безпеку та надійність робота, а також допомагає уникнути пошкоджень конструкції та забезпечує правильну роботу на всіх етапах виконання завдань.

					БР.ПМІ-80.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

Джерело живлення для робота має напругу 12 В та струм 6 А. Це джерело живлення забезпечує необхідну енергію для живлення Arduino Uno, A4988 3D CNC Shield та інших електронних компонентів робота. Важливо забезпечити стабільну та безперебійну подачу енергії, щоб забезпечити правильну роботу всіх компонентів робота та уникнути можливих проблем з живленням.

Важливо відзначити, що більшість деталей конструкції робота, зокрема ланки, шківні пасових передач, виготовлені з пластику PLA за допомогою 3D друку. Це надає можливість виготовляти необхідні компоненти самостійно та налаштовувати робота під конкретні потреби. Використання пластику PLA має кілька переваг, таких як доступність матеріалу, легкість обробки та міцність. Це робить конструкцію ефективною, економічно вигідною та дозволяє легко замінювати пошкоджені деталі.

					БР.ПМІ-80.00.00.000 ПЗ	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		35

3.2. Кінематика робота SCARA

Пряма задача кінематики маніпулятора полягає у визначенні положення робочого органу або ланки на основі заданих узагальнених координат. Використовується метод Денавіта-Хартенберга, який встановлює кінематичні співвідношення між взаємодіючими ланками з мінімальною кількістю параметрів. Кроки для розрахунку прямої задачі включають встановлення системи координат для кожної ланки, визначення параметрів Денавіта-Хартенберга та побудову матриць перетворень для кожної ланки.

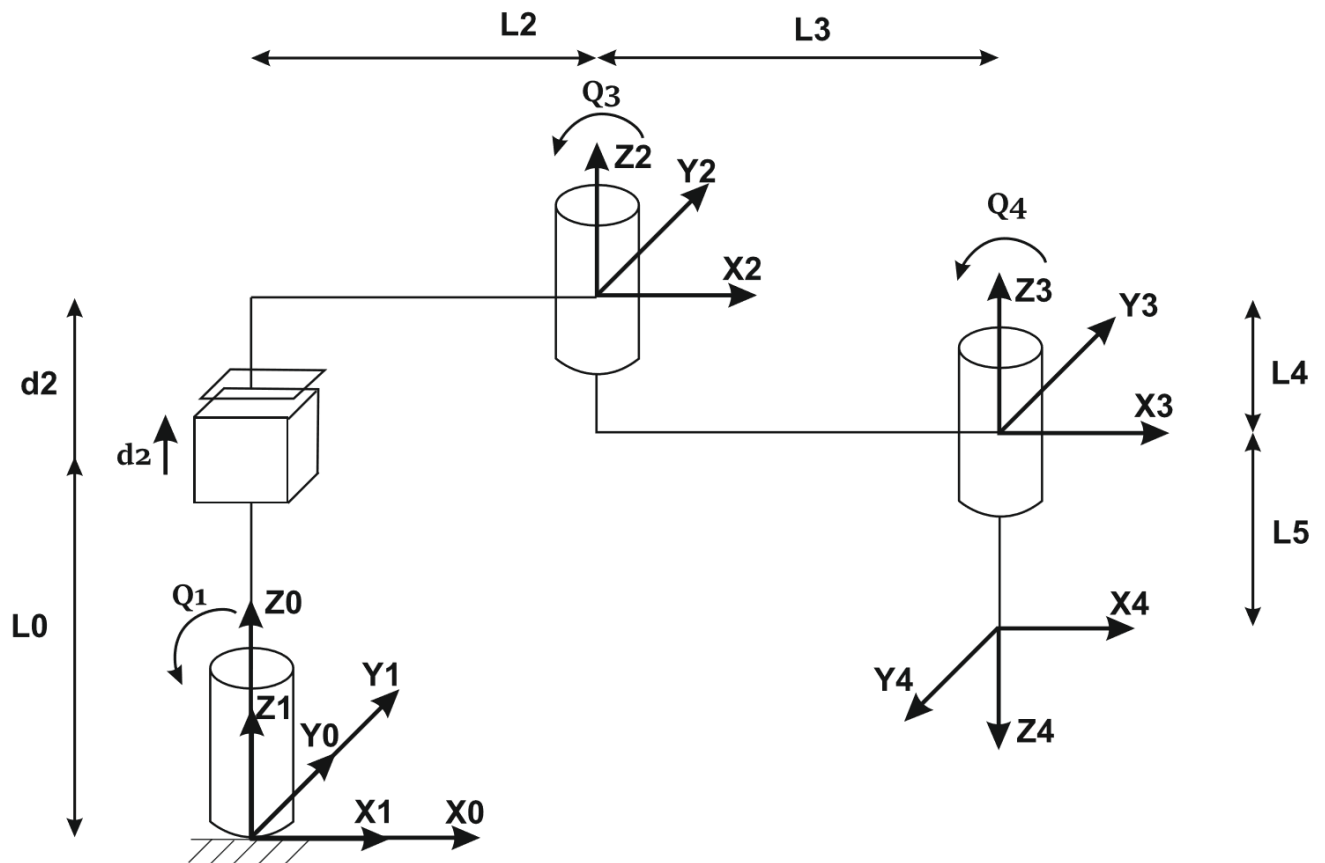


Рис. 3.1. - Системи координат кожної ланки

Після побудови матриць перетворень для кожної ланки, можна використовувати ці матриці для обчислення положення робочого органу або будь-якої іншої ланки за допомогою матричних операцій. Пряма задача кінематики є важливим етапом в проектуванні та управлінні маніпуляторами, оскільки дозволяє

визначити точні координати робочого органу на основі узагальнених координат маніпулятора.

Таблиця 3.1. – Дані отримані методом Денавіта-Хартенберга.

	θ_i	α_i	d_i	a_i
1	θ_1	0	0	0
2	0	0	$l_0 + d_2$	12
3	θ_3	0	-14	13
4	θ_4	180	-15	0

Матриці перетворення (для спрощення запису $\sin\theta_i$ та $\cos\theta_i$ записуємо як S_i та C_i відповідно):

$${}^{i-1}T_i = \begin{bmatrix} C\theta_i & -C\alpha_i S\theta_i & S\alpha_i S\theta_i & a_i C\theta_i \\ S\theta_i & C\alpha_i S\theta_i & -S\alpha_i S\theta_i & a_i S\theta_i \\ 0 & S\alpha_i & C\alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

Отримані матриці, відповідно до кінематичної схеми робота:

$${}^3T_4 = \begin{bmatrix} C_1 & -S_1 & 0 & 0 \\ S_1 & C_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.2)$$

$$T_2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & l_2 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & l_0 + d_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.3)$$

$${}^2T_3 = \begin{bmatrix} C_3 & -S_3 & 0 & l_3 C_3 \\ S_3 & C_3 & 0 & l_3 S_3 \\ 0 & 0 & 1 & -l_4 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.4)$$

$${}^3T_4 = \begin{bmatrix} C_4 & S_4 & 0 & 0 \\ S_4 & -C_4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & -l_5 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.5)$$

Щоб отримати матрицю перетворення (T) між основою та кінцем робота, ми повинні помножити попередні матриці (Скорочуємо запис з $\sin(\theta_1 + \theta_2)$ до S_{1+2} і тп.).

$${}^0T_4 = {}^0T_1 \cdot {}^1T_2 \cdot {}^2T_3 \cdot {}^3T_4 = \begin{bmatrix} n_x & o_x & a_x & p_x \\ n_y & o_y & a_y & p_y \\ n_z & o_z & a_z & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.6)$$

$${}^0T_4 = {}^0T_1 \cdot {}^1T_2 \cdot {}^2T_3 \cdot {}^3T_4 = \begin{bmatrix} C_{1+3+4} & S_{1+3+4} & 0 & l_2 C_1 + l_3 C_{1+3} \\ S_{1+3+4} & -C_{1+3+4} & 0 & l_2 S_1 + l_3 S_{1+3} \\ 0 & 0 & -1 & l_0 + d_2 - l_4 - l_5 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.7)$$

Результуюча T-матриця формується підматрицею 3x3, призначеною для орієнтації (n,o,a), і вектором 3x1, призначеною для позиції (p).

$$T = \begin{bmatrix} C_{1+3+4} & S_{1+3+4} & 0 \\ S_{1+3+4} & -C_{1+3+4} & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \quad (3.8)$$

$$P = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} l_2 C_1 + l_3 C_{1+3} \\ l_2 S_1 + l_3 S_{1+3} \\ l_0 + d_2 - l_4 - l_5 \end{bmatrix} \quad (3.9)$$

Для перевірки і перемноження матриць використовую python. Код програми:
import numpy as np

#l0-5 та d2 розміни ланок та переміщення, для перевірки матриці вказано значення "1", не використовуючи реальні розміри

l0=1; l2=1; l3=1; l4=1; l5=1; d2=1

n=4 #кількість проходження циклу, відповідає ступеню вільності механізму

teta=[0, 0, 0, 0] #список значень тета, вказуються послідовно

alfa=[0, 0, 0, 180] #список значень альфа, вказуються послідовно

r=[0, l2, l3, 0] #список значень a, вказуються послідовно

d=[l0, d2, l4, l5] #список значень d, вказуються послідовно

T0_4=[[1, 0, 0, 0], [0, 1, 0, 0], [0, 0, 1, 0], [0, 0, 0, 1]] #змінна для маніпуляцій над матрицями та запису кінцевого результату

T0_0=[1,1,1,1] #змінна для запису списку матриць

T=[1,1,1,1] #змінна для запису списку матриць

for i in range(n):

```

t=(teta[i]/180.0)*np.pi #переведення значення тета в радіани
al=(alfa[i]/180.0)*np.pi #переведення значення альфа в радіани
r0=[[round(np.cos(t), 4), round(-np.sin(t)*np.cos(al), 4), round(np.sin(t)*np.sin(al),
4), round(r[i]*np.cos(t), 4)], [round(np.sin(t), 4), round(np.cos(t)*np.cos(al), 4), round(-
np.cos(t)*np.sin(al), 4), round(r[i]*np.sin(t),4)], [0, round(np.sin(al), 4), round(np.cos(al),
4), round(d[i], 4)], [0, 0, 0, 1]] #визначення матриці для двох сусідніх систем
координат

T[i]=r0 #список визначених матриць
T0_4=np.dot(T0_4, r0) #перемноження всіх матриць
T0_0[i]=T0_4 #список поступового перемноження матриць

print (T) #вивід матриць сусідніх систем координат
print (T0_0)
print (T0_4) #вивід матриці T0_4

```

Результат:

Матриці «Т»:

```

[[[1.0, -0.0, 0.0, 0.0], [0.0, 1.0, -0.0, 0.0], [0, 0.0, 1.0, 0.0], [0, 0, 0, 1]],
[[1.0, -0.0, 0.0, 1.0], [0.0, 1.0, -0.0, 0.0], [0, 0.0, 1.0, 2.0], [0, 0, 0, 1]],
[[1.0, -0.0, 0.0, 1.0], [0.0, 1.0, -0.0, 0.0], [0, 0.0, 1.0, 1.0], [0, 0, 0, 1]],
[[1.0, 0.0, 0.0, 0.0], [0.0, -1.0, -0.0, 0.0], [0, 0.0, -1.0, 1.0], [0, 0, 0, 1]]]

```

Матриці «T0_0»:

```

[array([[1., 0., 0., 0.], [0., 1., 0., 0.], [0., 0., 1., 0.], [0., 0., 0., 1.])),
array([[1., 0., 0., 1.], [0., 1., 0., 0.], [0., 0., 1., 2.], [0., 0., 0., 1.])),
array([[1., 0., 0., 2.], [0., 1., 0., 0.], [0., 0., 1., 3.], [0., 0., 0., 1.])),
array([[1., 0., 0., 2.], [0., -1., 0., 0.], [0., 0., -1., 4.], [0., 0., 0., 1.]])]

```

Матриця «T0_4»:

```

[[ 1.  0.  0.  2.]
 [ 0. -1.  0.  0.]

```

					БР.ПМІ-80.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

[0. 0. -1. 4.]

[0. 0. 0. 1.]

Виконання задачі графічним (геометричним) методом

Дотримуючись принципів геометричних побудов, ми виконуємо необхідні кроки геометричних побудов у вибраному масштабі. Ми документуємо рівняння, необхідні для визначення проєкцій вектора, і, відповідно до масштабу, використаного при побудові, ми перетворюємо довжину у відповідне значення.

Простота і ясність розв'язку є основною перевагою використання геометричного (графічного) методу розв'язання задачі. Однак основним недоліком використання цього методу є вимога до точних геометричних побудов, що може бути складним завданням, і результат може бути не гарантовано точний. Точність результату залежить як від точності вимірювань, так і від точності геометричних побудов, які залежать від масштабу та точності використовуваних інструментів.

$$x = L_2 \cdot \cos\theta_1 + L_3 \cdot \cos(\theta_1 + \theta_3) \quad (3.10)$$

$$y = L_2 \cdot \sin\theta_1 + L_3 \cdot \sin(\theta_1 + \theta_3) \quad (3.11)$$

Зворотна задача кінематики маніпулятора полягає у визначенні узагальнених координат, які відповідають заданому положенню захвату або ланки. Це необхідно для планування траєкторії руху маніпулятора. Розв'язання зворотної задачі може здійснюватись за допомогою методів зворотних перетворень або бікватерніонів. Метод зворотних перетворень використовує матриці перетворень для визначення значень координат. Це може привести до отримання аналітичних виразів для розв'язку.

Для обчислення зворотної кінематики використовую матрицю перетворення 0T_4 прямої кінематики, формула 3.9.

$${}^4T_3 \cdot {}^3T_4^{-1} = {}^0T_1 \cdot {}^1T_2 \cdot {}^2T_3 = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & 0 & r_{14} - 0 \\ r_{21} & r_{22} & 0 & r_{24} - 0 \\ r_{31} & r_{32} & 1 & r_{34} + l_5 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{1+3+4} & S_{1+3+4} & 0 & l_2 C_1 + l_3 C_{1+3} \\ S_{1+3+4} & -C_{1+3+4} & 0 & l_2 S_1 + l_3 S_{1+3} \\ 0 & 0 & -1 & l_0 + d_2 - l_4 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.12)$$

					БР.ПМІ-80.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

Із рівняння виходить, що:

$$\theta_3 = \cos^{-1} \left(\frac{(f_1^2 - f_2^2 - l_2^2 - l_3^2)}{(2 \cdot l_2 \cdot l_3)} \right) \quad (3.13)$$

$$\theta_1 = \operatorname{atan}(f_2 \cdot f_3 - f_1 \cdot f_4, f_1 \cdot f_3 + f_2 \cdot f_4) \quad (3.14)$$

де:

$$f_1 = r_{14} = C_1(l_2 + l_3 C_3) - S_1(l_3 S_3) = C_1 f_3 - S_1 f_4 \quad (3.15)$$

$$f_2 = r_{24} = S_1(l_2 + l_3 C_3) + C_1(l_3 S_3) = S_1 f_3 + C_1 f_4 \quad (3.16)$$

Тоді, кут θ_4 дорівнює:

$$\theta_4 = \theta_{1+3+4} - \theta_1 - \theta_3 \quad (3.17)$$

Виконання задачі графічним (геометричним) методом

Для цього використовуємо вже проведений вектор із прямої задачі (L).

Визначаємо кут Q відносно x та y :

$$\theta_3 = \arccos \left(\frac{x^2 + y^2 - L_2 - L_3}{2 \cdot L_2 \cdot L_3} \right) \quad (3.18)$$

$$\theta_1 = \arctan \left(\frac{x}{y} \right) - \arctan \left(\frac{L_2 \cdot \sin \theta_3}{L_2 + L_3 \cdot \cos \theta_3} \right) \quad (3.19)$$

Рівняння для визначення кута θ_4 відповідає рівнянню 3.17.

3.3. Імітаційне моделювання робота в ПЗ RoboDK

Для імітаційного моделювання робота використовується програмне забезпечення RoboDK. При його запуску автоматично створюється новий проект (New Station) і будується дерево станцій. За допомогою головного меню або панелі інструментів можна відкривати доступні елементи, а також користуватися онлайн бібліотекою елементів.

Для створення моделі робота спочатку потрібно створити 3D конструкції кожної ланки окремо за допомогою середовища SolidWorks. Після цього, для зменшення навантаження на комп'ютер, ланки спрощуються шляхом видалення внутрішніх елементів. Задаються відповідні системи координат і файли зберігаються у форматі STEP AP214 або STL для роботи в RoboDK.

Потім необхідні файли завантажуються в RoboDK за допомогою опції «File» -> «Open». Ланки робота з'являються у дереві станцій і відображаються у відповідних початкових положеннях, оскільки при створенні їх було виставлено у ці положення зі спільною системою координат.

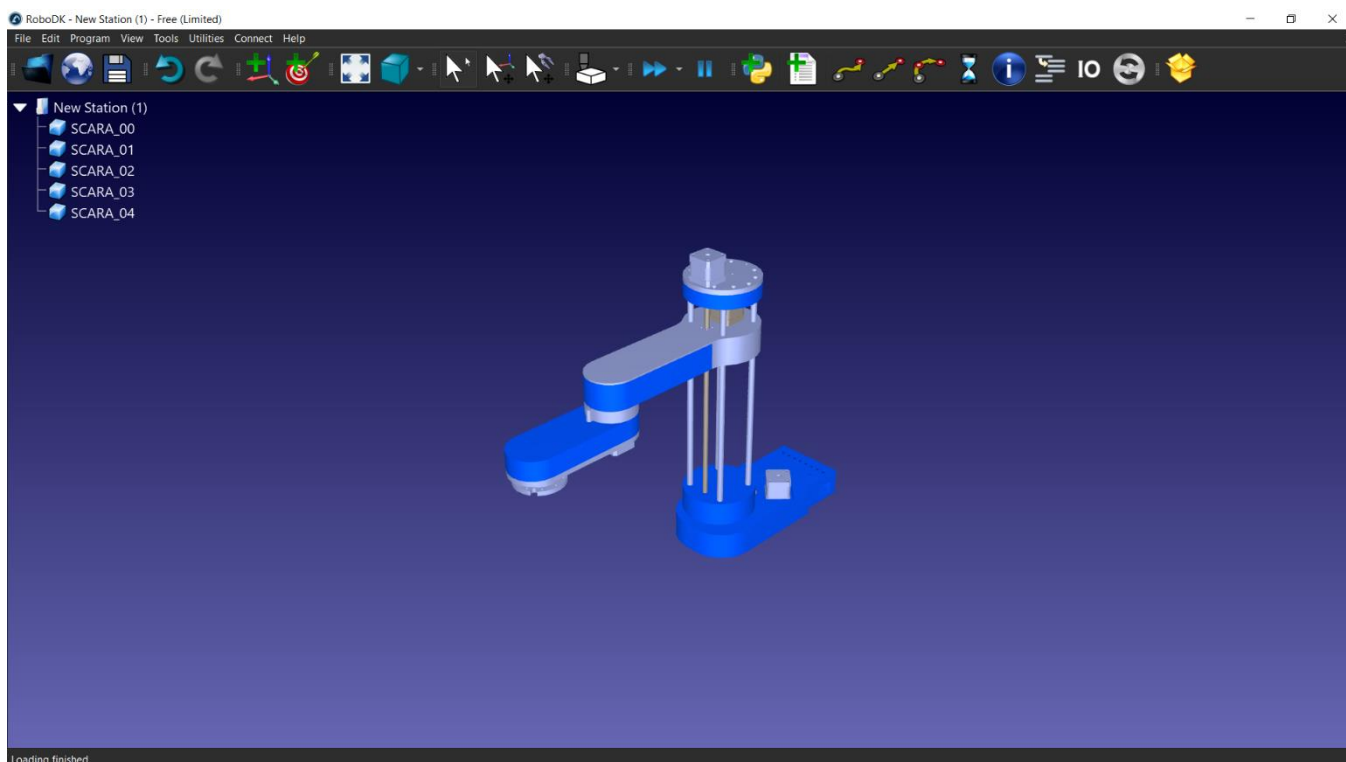


Рис. 3.2. – Завантажені деталі робота в RoboDK

					БР.ПМІ-80.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

Далі, у головному меню, обирається «Utilities -> Model Mechanism or Robot».
Відкривається меню побудови/модифікації механізму чи робота.

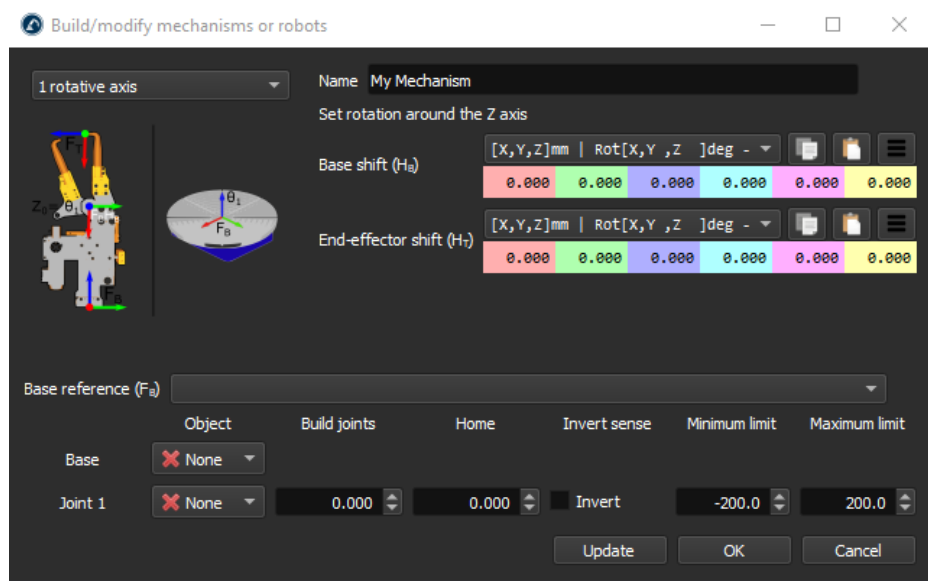


Рис. 3.3. - Меню побудови / модифікації механізму чи робота

Обирається тип робота (у даному випадку "4 axes SCARA robot (T=axis 2)"), змінюється назва робота, заповнюються необхідні дані і перевіряється правильність рухів робота. Після внесення змін натискається кнопка «Update», а після всіх виправлень - «Ok».

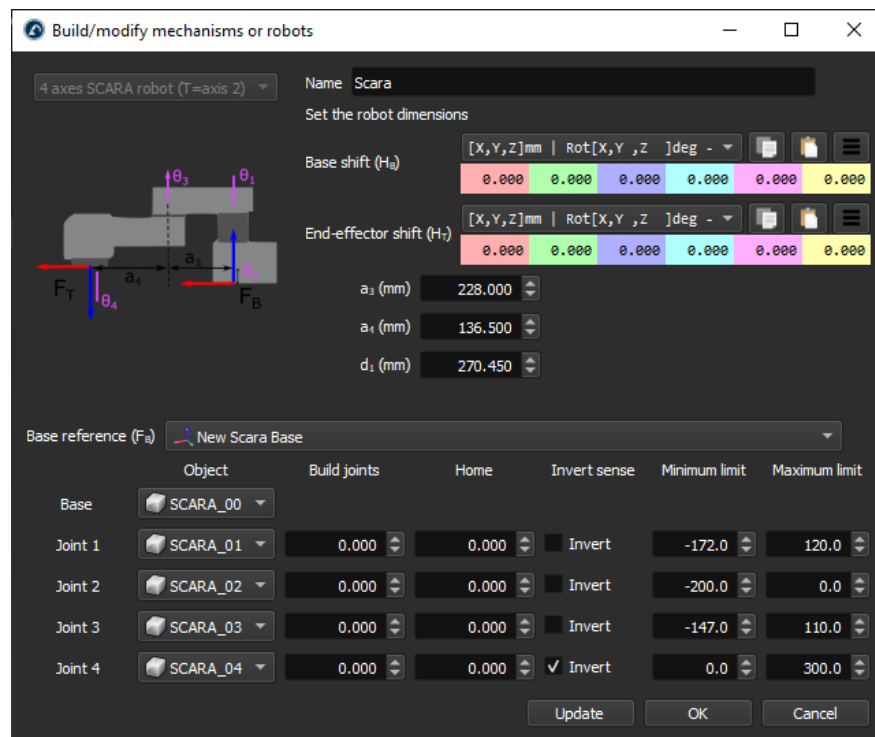


Рис. 3.4. – Налаштування параметрів робота

Далі в RoboDK, у редакторі програми, створюється послідовність рухів робота по точках. Вводяться координати або відповідні команди для переміщення робота до бажаних позицій. Кожен рух записується на окремому рядку коду. Після запису всіх рухів, програма може бути виконана для перевірки рухів робота у симуляційному середовищі RoboDK. Результати рухів можна спостерігати, спостерігаючи, як робот переміщується до заданих точок. Також можна отримати код. Для прикладу програма написана Generic:

```
void Prog1(){  
  
// *** WARNING: Invalid license or undefined post processor to generate code for  
uFactory uArm***  
  
// *** The following program will not work on the uFactory uArm controller ***  
// *** For more information: http://www.robodk.com/help.php#PostProcessor ***  
  
// Program generated by RoboDK v5.5.0 for uFactory uArm on 19/10/2022 10:54:00  
// Using nominal kinematics.  
Set_BaseFrame(Pose(200.000000, 0.000000, 80.000000, 0.000000, 0.000000,  
0.000000));  
MoveJ(Pose(0.000000, 0.000000, 80.000000, 180.000000, 0.000000, -180.000000));  
MoveC(Pose(20.000000, 20.000000, 40.000000, 180.000000, 0.000000, -  
180.000000),Pose(0.000000, 0.000000, 0.000000, 180.000000, 0.000000, -180.000000));  
MoveC(Pose(-40.000000, -40.000000, 40.000000, 180.000000, 0.000000, -  
180.000000),Pose(0.000000, 0.000000, 80.000000, 180.000000, 0.000000, -  
180.000000));  
return;  
}
```

					БР.ПМІ-80.00.00.000 ПЗ	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		44

3.4. Перелік комплектуючих робота

Нижче наведено перелік комплектуючих, необхідних для побудови робота SCARA, а також їх опис і функціональність:

1. Arduino плата: Arduino є мікроконтролером, який виконує роль головного керуючого пристрою робота SCARA. Вона забезпечує обробку сигналів з сенсорів, керування кроковими двигунами та сервоприводом, а також взаємодію з зовнішніми пристроями.



Рис. 3.5. – Плата Arduino UNO

2. Плата розширення A4988 3D CNC Shield v3.0 Arduino: Спеціалізованою платою, призначеною для розширення можливостей Arduino у керуванні кроковими двигунами. Вона має вбудовані драйвери A4988, які забезпечують керування кроковими двигунами з високою точністю і керують їхньою швидкістю та напрямком руху. Плата дозволяє підключати крокові двигуни безпосередньо до Arduino, спрощуючи процес керування рухом робота або іншої CNC-машини.

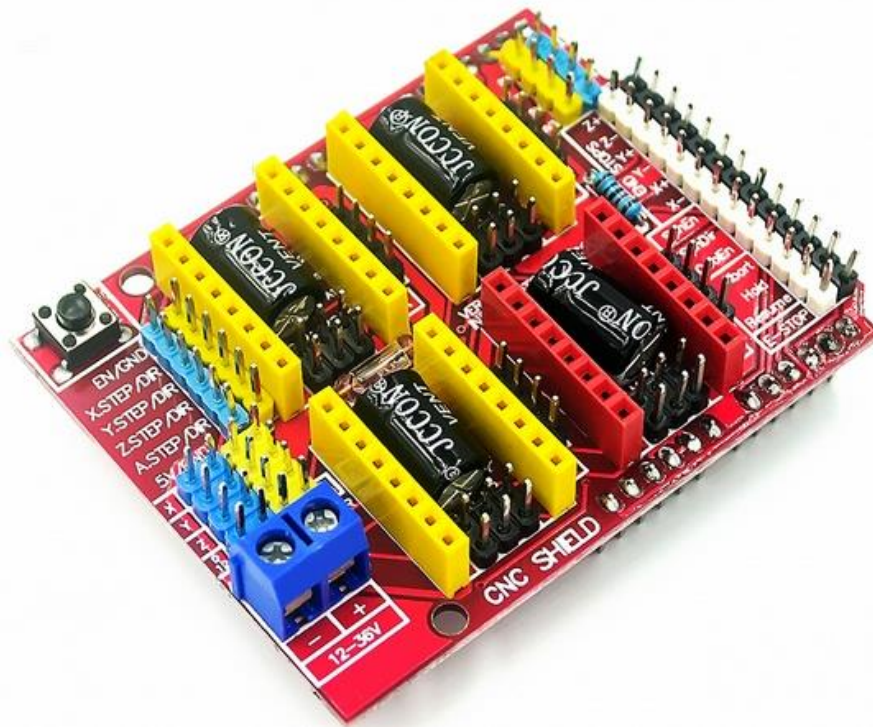


Рис. 3.6. - Плата розширення A4988 3D CNC Shield v3.0 Arduino

3. Драйвери A4988: Електронними пристроями, призначеними для керування кроковими двигунами. Вони використовуються для подачі правильних сигналів керування до крокового двигуна, забезпечуючи його рух і точне позиціонування. Драйвер A4988 здатний генерувати потрібні послідовності сигналів для здійснення крокового руху двигуна, а також контролювати його швидкість і напрямок руху. Вони часто використовуються у проектах, які вимагають точного керування кроковими двигунами, таких як роботи, CNC-машини або 3D-принтери.

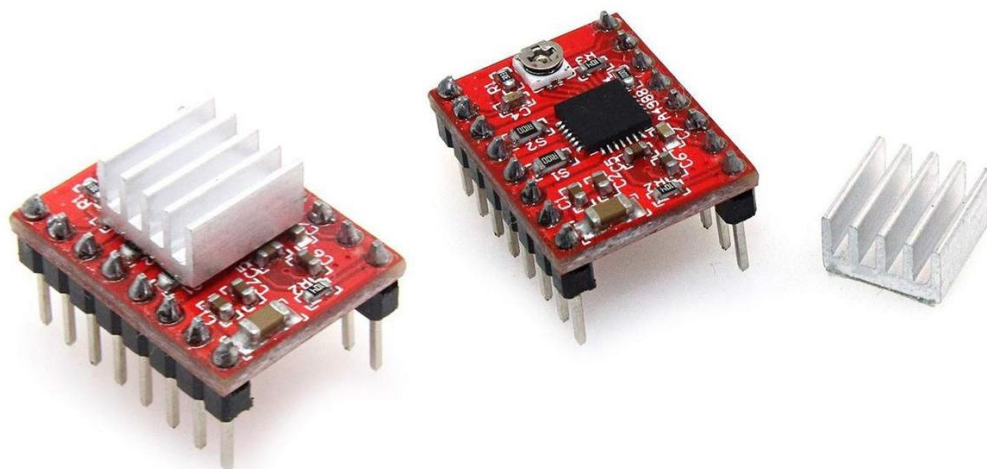


Рис. 3.7. - Драйвери A4988

4. Блок живлення перетворювач AC-DC 220-12V 6-8 A: Електронний пристрій, призначений для перетворення електричної енергії зі змінного струму (AC) на постійний струм (DC) і забезпечення необхідної напруги (12V) та струму (6-8 A) для живлення різних компонентів системи.

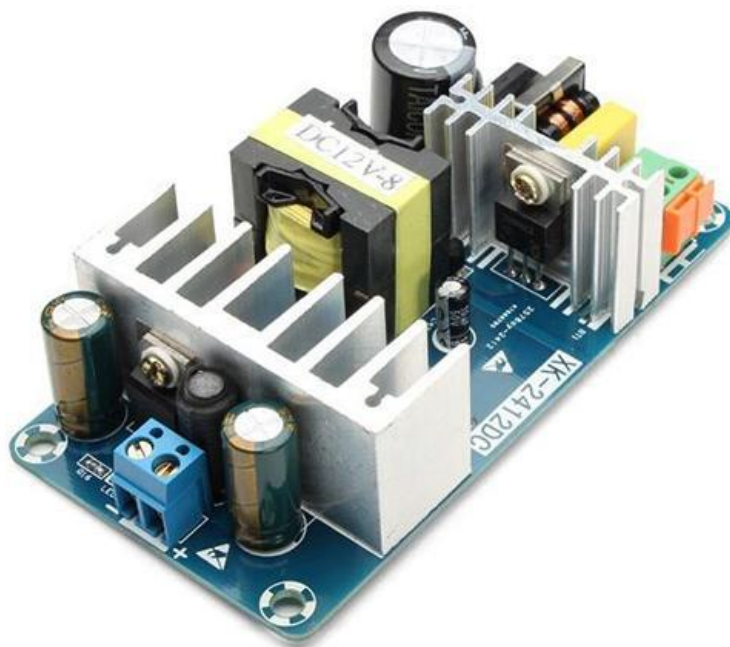


Рис. 3.8. - Блок живлення перетворювач AC-DC 220-12V 6-8 A

5. Крокові двигуни: Крокові двигуни відповідають за керування рухом ланок робота SCARA. Вони забезпечують точне позиціонування і кутову швидкість кожного зв'язку. Крокові двигуни мають два намотування, які дозволяють змінювати напрямок руху і кутову швидкість.

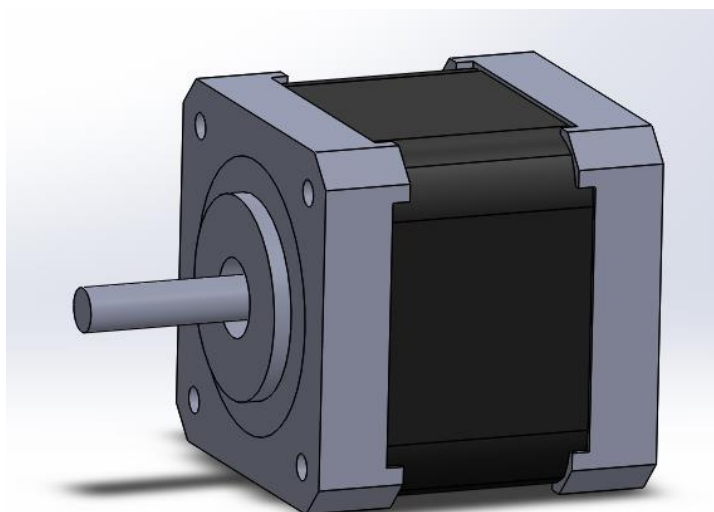


Рис. 3.9. – Кроковий двигун

6. Датчики: Датчики використовуються для збору інформації про навколишнє середовище та взаємодії з об'єктами. Це можуть бути датчики відстані, які вимірюють відстань до перешкод, датчики дотику для виявлення контакту з об'єктами або датчики світла для визначення освітленості. Інформація з датчиків використовується для прийняття рішень щодо руху робота.

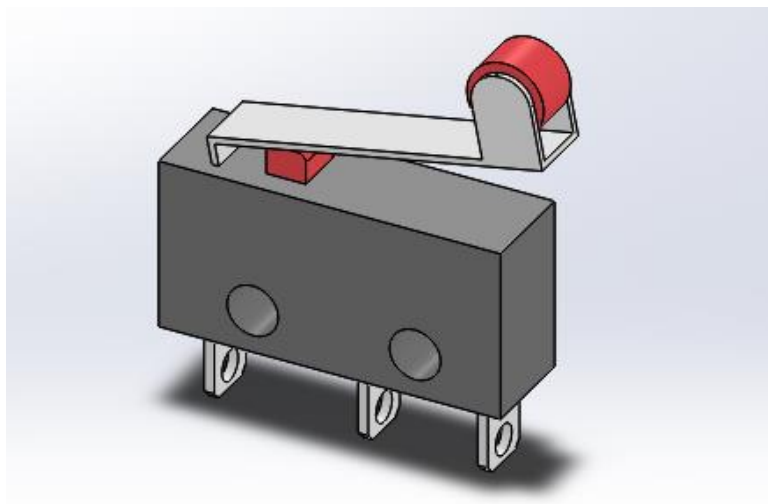


Рис. 3.10. – Кінцевий датчик

7. Деталі виготовлені 3Д принтером (PLA пластик): Окремі складові частини робота, які мають свою функціональність і виконують певні завдання.

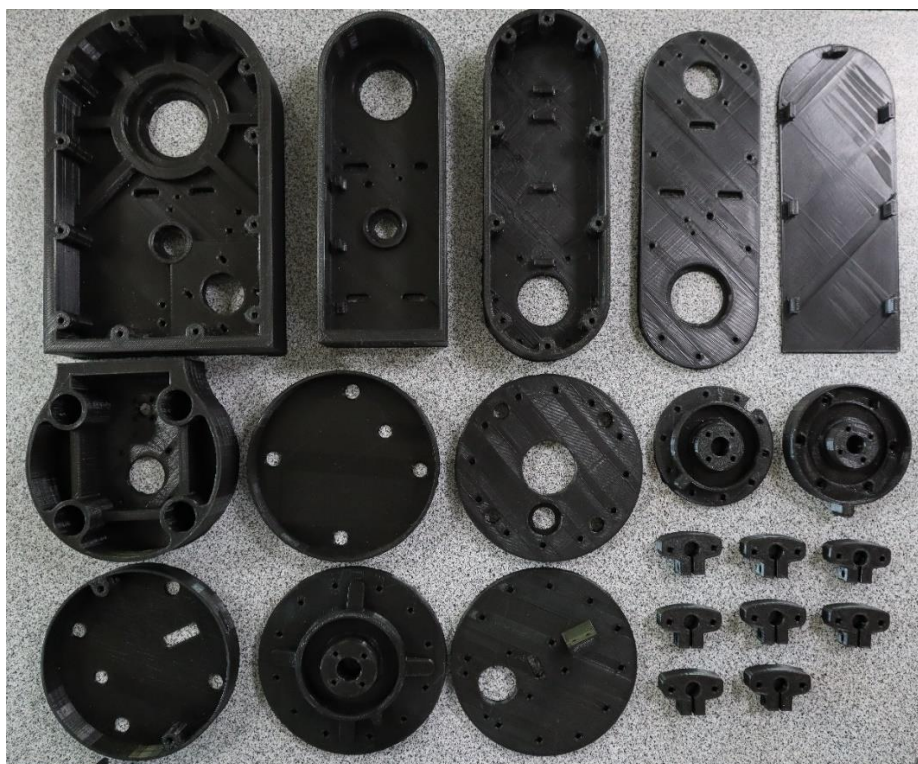


Рис. 3.11. – Надруковані деталі

8. Шківни виготовлені з PLA пластику на 3Д принтері (з кращою точністю): використовуються для передачі руху від однієї вісі до іншої за допомогою ремня або ланцюга. Вони мають коліщатопоподібну форму з виступами або жолобками на зовнішній поверхні, які взаємодіють з рухомими елементами. У проєкті вони використовуються для передачі руху від крокових двигунів до ланок робота. Вони забезпечують точне позиціонування та кутову швидкість кожної зв'язки, дозволяючи роботу переміщуватися в потрібному напрямку та з необхідною швидкістю.

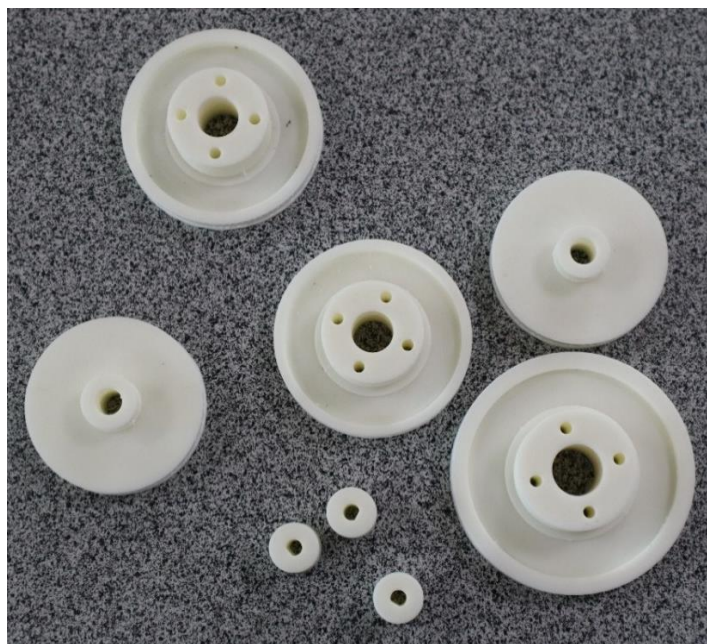


Рис. 3.12. – Надруковані шківни

9. Стрижень гладкий D10mm L400mm: Використовуються як опори або осі для рухомих деталей в механічних системах. Вони можуть з'єднувати рухомі елементи, служити опорою для кріплення інших компонентів або використовуватися як засіб переміщення об'єктів, наприклад, у системах лінійного переміщення.



Рис. 3.13. – 4 гладкі стрижні D10mm L400mm

					БР.ПМІ-80.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

10. Ходовий гвинт та гайка: спеціальний тип гвинта і гайки, які використовуються для перетворення обертального руху в лінійний рух. Вони забезпечують точне і плавне переміщення по вісі, коли гвинт обертається, а гайка рухається вздовж нього.



Рис. 3.14. - Ходовий гвинт та гайка

11. Підшипники (лінійні, упорні, кулькові): Підшипники є механічними пристроями, що використовуються для зменшення тертя між рухомими частинами механізмів. Вони дозволяють забезпечити плавний рух, знижуючи опір тертя та зносу. У контексті роботів SCARA використовуються різні типи підшипників:

Лінійні підшипники: Вони використовуються для обмеження руху вздовж прямої лінії. Лінійні підшипники дозволяють рухатися по лінії без обертання і забезпечують стабільну та точну посадку.

Упорні підшипники: Вони застосовуються для підтримки осей, що діють вздовж одного напрямку. Упорні підшипники допомагають переносити осьові навантаження та забезпечують стабільну роботу системи навіть при значних силових навантаженнях.

Кулькові підшипники: Це один з найпоширеніших типів підшипників, що використовуються в різних механізмах. Вони мають кулькову форму, що дозволяє їм забезпечити рух у будь-якому напрямку. Кулькові підшипники забезпечують плавний рух та підтримують великі силові навантаження.

В контексті роботів SCARA, підшипники використовуються для забезпечення плавного руху ланок робота, зниження тертя та забезпечення точного позиціонування. Вони грають важливу роль у підтримці ефективності та точності робота SCARA.

					БР.ПМІ-80.00.00.000 ПЗ	Арк.
						50
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рис. 3.15. - Підшипники

12. Ремені: Гнучкі елементи передачі руху, які використовуються для передачі обертального руху з одного валу на інший за допомогою ремня, який натягнутий між ними. Ремені складаються з гумового або силіконового пояса з прямокутним або V-подібним перерізом.



Рис. 3.16. Ремені

13. Гвинти, шайби та гайки: Використовуються для з'єднання різних компонентів маніпулятора та їх фіксації.

14. Кабелі: Використовуються для з'єднання всіх компонентів системи та передачі сигналів та живлення між ними.

					БР.ПМІ-80.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

3.5. Виготовлення прототипу лабораторного робота

Виготовлення прототипу робота SCARA є важливим етапом в процесі розробки. Нижче наведено послідовність кроків цього процесу:

1. Розробка механічної конструкції: Першим кроком у виготовленні прототипу робота SCARA є розробка механічної конструкції. Це включає вибір матеріалів, розмірів і форм елементів, проектування каркасу, механізмів руху і кінематики робота. Складальне креслення можна побачити у додатках.

2. Вибір компонентів: Наступним кроком є вибір компонентів, які використовуються у прототипі. Це включає вибір моторів, датчиків, керуючої електроніки, засобів зв'язку і інших елементів, необхідних для функціонування робота. Детальніше про це у розділі 3.4.

3. Виготовлення необхідних деталей на 3D-принтері: Після вибору необхідних компонентів ми переходимо до процесу виготовлення деталей за допомогою 3D-принтера. Для друку використовується матеріал PLA, а сам принтер - VERNERFAB і3 2.1. Для підготовки файлів для друку ми використовуємо програмне середовище Ultimaker Cura. Налаштування друку більшості деталей можна знайти на Рис. 2.3.

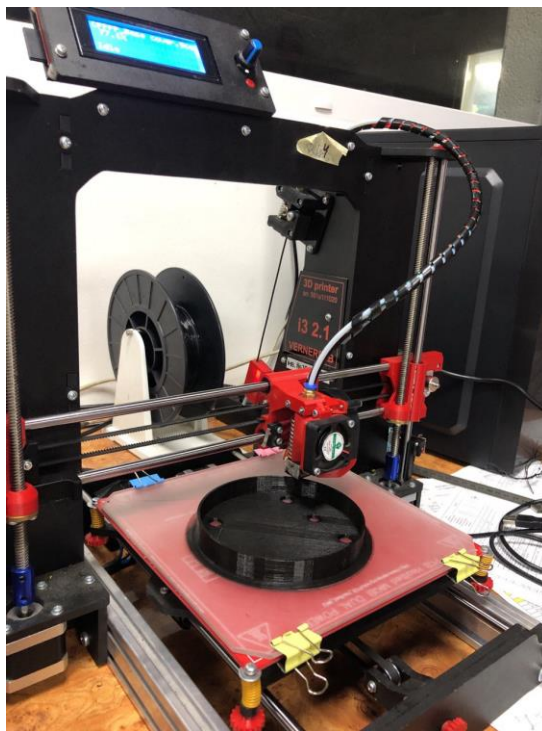


Рис. 3.17. – Процес друку на принтері VERNERFAB і3 2.1

4. Збирання та з'єднання компонентів: Після отримання виготовлених деталей настає важливий етап - збирання та з'єднання всіх компонентів прототипу робота. Цей процес вимагає уваги до деталей та правильного виконання кожного кроку.

Починаємо збірку з базової ланки, до якої приєднується частина другої ланки. Після цього складену конструкцію тимчасово відкладаємо і переходимо до збирання третьої ланки. До третьої ланки приєднується четверта, далі з'єднуємо третю ланку з другою, встановлюючи їх у правильній позиції. Продовжуємо збирати другу ланку, додаючи необхідні елементи.



Рис. 3.18. – Процес збирання та з'єднання компонентів

Під час збирання ланок важливо зауважити, що на цьому етапі їх не потрібно закривати кришками. Це дозволяє зручно доступатись до внутрішніх компонентів і здійснювати необхідні налаштування.

Після завершення збирання ланок переходимо до паяння провідників до кінцевих датчиків. Це необхідно зробити так, щоб вони надавали сигнал "нормально закритий". Після паяння провідників важливо перевірити їх надійність і правильне підключення.

Після цього настає етап підключення електроніки. Спочатку підключаємо шилд (плату розширення A4988 3D CNC Shield v3.0 Arduino) та драйвери до Arduino. Шилд дозволяє керувати кроковими двигунами. Потім підключаємо всі крокові двигуни до відповідних виходів на шилді. До Arduino також підключаємо джерело живлення з напругою 12 Вольт і силою струму 6 Ампер. Необхідно переконатись, що підключення проведено правильно і забезпечує достатнє живлення всіх компонентів.

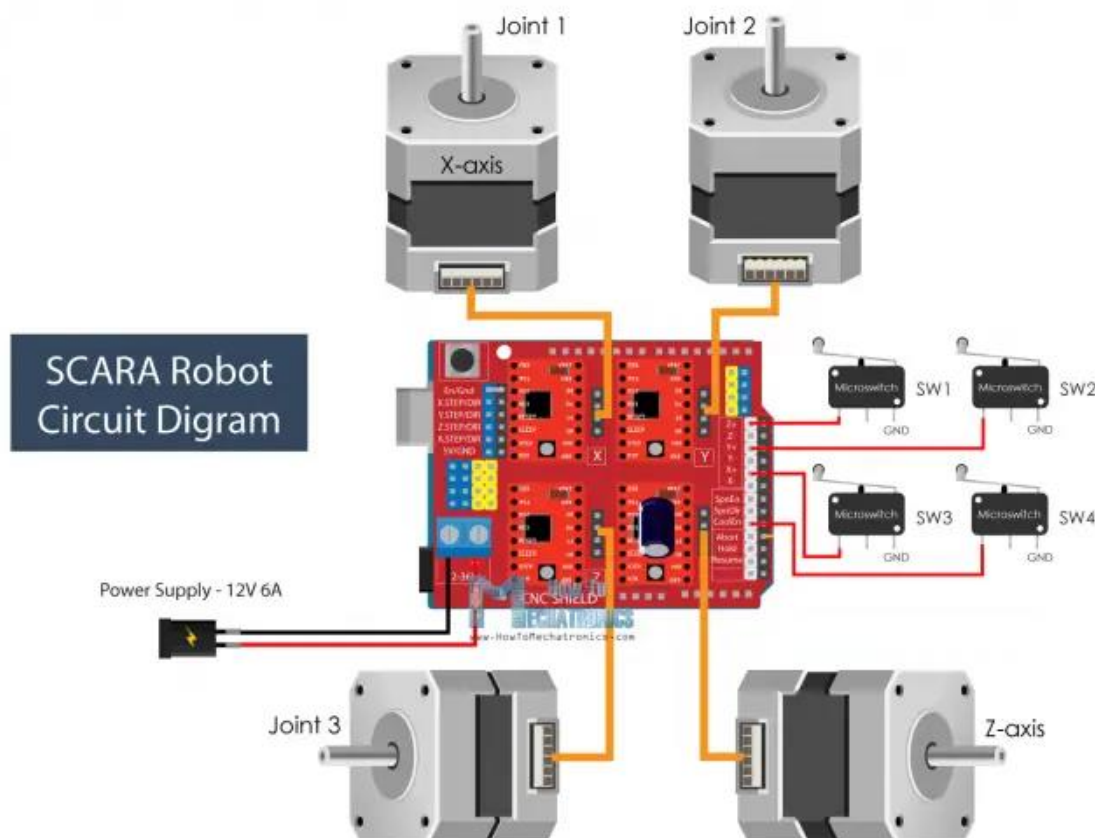


Рис. 3.19. – Схема підключення робота до Arduino

Остаточним кроком є закриття всіх кришок на прототипі. Це захищає електроніку та інші чутливі компоненти від зовнішніх впливів і забезпечує безпеку робота під час його руху та функціонування.

4. Програмування та налаштування: Після збирання прототипу необхідно розробити програмне забезпечення для керування роботом. Це включає програмування мікроконтролера Arduino UNO і розробку алгоритмів руху, керування і взаємодії зі середовищем. Програмний код знаходиться в додатках.

5. Тестування та налагодження: Після програмування прототип піддається тестуванню та налагодженню. Це включає перевірку працездатності всіх компонентів, перевірку точності позиціонування, виконання різних завдань і взаємодію з оточенням. За потреби вносяться корективи і вдосконалення.

6. Оцінка результатів тестування: Після завершення тестування проводиться оцінка результатів. Аналізуються параметри продуктивності, точності руху, надійності і відповідності вимогам специфікацій. Ця оцінка допомагає виявити слабкі місця і вдосконалити конструкцію.

Виготовлення та тестування прототипу робота SCARA є важливим етапом, який дозволяє перевірити функціональність і ефективність конструкції перед переходом до виробництва масштабних моделей. Цей процес може зайняти значний час і зусилля, але дозволяє забезпечити оптимальну роботу робота у реальних умовах.

					БР.ПМІ-80.00.00.000 ПЗ	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		55

ВИСНОВКИ

У рамках дипломної роботи була проведена ретельна розробка та дослідження робота SCARA. Робототехніка стає все більш актуальною у сучасному світі, і роботи SCARA виявляються особливо корисними у багатьох сферах застосування, таких як промислове виробництво, медицина, автоматизоване тестування і багато інших.

У першому розділі роботи були розглянуті основні аспекти робототехніки і перший робот SCARA. Було досліджено призначення, види та класифікацію роботів SCARA, а також їх сфери застосування. Було вивчено будову та принцип роботи цих роботів. Також було проаналізовано важливі технології, такі як 3D-друк і програмне середовище Solidworks, які можуть бути використані при розробці і виготовленні робота SCARA.

У другому розділі були проаналізовані програмні середовища, необхідні для реалізації проекту, зокрема 3D друк, програмне середовище Solidworks, плата Arduino та середовище розробки Arduino IDE, а також RoboDK.

У третьому розділі була детально розглянута досліджувана конструкція робота SCARA, включаючи її опис та принципи роботи. Було розглянуто підключення робота до плати Arduino, яка є основою для керування роботом. Був наведений перелік комплектуючих, необхідних для збирання прототипу робота. Також були розглянуті переваги та недоліки конструкції, що дозволяє зрозуміти її потенціал і обмеження.

Останнім кроком було виготовлення та тестування прототипу робота SCARA. Цей етап включав збирання всіх компонентів, їх з'єднання і програмування для забезпечення правильного функціонування робота. Після завершення виготовлення прототипу було проведено його тестування та налагодження з метою перевірки працездатності.

В результаті проведених досліджень було встановлено, що робот SCARA є потужним інструментом, що володіє великим потенціалом у різних сферах застосування. Він може значно полегшити та прискорити багато процесів,

					БР.ПМІ-80.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

забезпечуючи високу точність і продуктивність. Однак, разом з перевагами, конструкція робота SCARA також має свої недоліки, такі як обмежена маневреність і складність програмування в деяких випадках.

У цілому, розробка та дослідження робота SCARA виявилися цікавим і перспективним завданням. Отримані результати можуть бути використані для подальшого вдосконалення конструкції, розширення його функціональності та застосування в різних галузях. Робототехніка продовжує розвиватися, і роботи SCARA є важливим кроком у напрямку автоматизації та покращення робочих процесів.

					<i>БР.ПМІ-80.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		57

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Дмитрієва І. С., Левченко Д. О. Дослідження кінематичної моделі маніпуляційного робота. *Системні технології*. 2015. № 3.
2. Лекція 6 . Кінематичний аналіз пр. Розв'язання прямої задачі кінематики. *StudFiles*. URL: <https://studfile.net/preview/5725414/page:7/>.
3. Панченко А. Solidworks 3D CAD - технологія проектування.
4. Проць Я. І. Захоплювальні пристрої промислових роботів : навч. посіб. Тернопіль : Терноп. держ. техн. ун-т ім. І. Пулюя, 2008.
5. Сокол Г. І. Теорія механізмів робототехнічних систем. кінематика. Дніпропетровськ : РВВ ДНУ, 2002.
6. Цвіркун Л. І., Грулер Г. Робототехніка та мехатроніка : навч. посіб. Національний гірничий університет, 2007.
7. Який пластик для 3D друку кращий? Розбираємося разом. *3DDevice*. URL: https://3ddevice.com.ua/faq-voprosy-i-otvety-o-3d-printerakh/plastik-dlia-3d-pechati/#pll_switcher.
8. Arduino - home. *Arduino - Home*. URL: <https://www.arduino.cc/>.
9. Courses and certificate programs for engineers - i GET IT. *i GET IT*. URL: <https://www.myigetit.com/>.
10. Introduction to solidworks. *Engineering.com*.
11. SCARA robot | how to build your own arduino based robot. *How To Mechatronics*. URL: <https://howtomechatronics.com/projects/scara-robot-how-to-build-your-own-arduino-based-robot/>
12. SolidWorks URL: <https://www.solidworks.com/>.
13. What is arduino?. *Arduino - Home*. URL: <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction/>.
14. URL: researchgate.net
15. URL: <https://beegreen.com.ua/>

```

#include <AccelStepper.h>
#include <math.h>

#define limitSwitch1 11
#define limitSwitch2 10
#define limitSwitch3 9
#define limitSwitch4 A3

// Define the stepper motors and the pins the will use
AccelStepper stepper1(1, 2, 5); // (Type:driver, STEP, DIR)
AccelStepper stepper2(1, 3, 6);
AccelStepper stepper3(1, 4, 7);
AccelStepper stepper4(1, 12, 13);

double x = 10.0;
double y = 10.0;
double L1 = 228; // L1 = 228mm
double L2 = 136.5; // L2 = 136.5mm
double theta1, theta2, phi, z;

int stepper1Position, stepper2Position, stepper3Position, stepper4Position;

void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
  Serial.begin(115200);

  pinMode(limitSwitch1, INPUT_PULLUP);
  pinMode(limitSwitch2, INPUT_PULLUP);

```

					БР.ПМІ-80.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

```

pinMode(limitSwitch3, INPUT_PULLUP);
pinMode(limitSwitch4, INPUT_PULLUP);

// Stepper motors max speed//2000-1000
stepper1.setMaxSpeed(2000);
stepper1.setAcceleration(500);
stepper2.setMaxSpeed(2000);
stepper2.setAcceleration(500);
stepper3.setMaxSpeed(2000);
stepper3.setAcceleration(500);
stepper4.setMaxSpeed(2000);
stepper4.setAcceleration(500);

homing();
}

void loop() {}

void homing() {
// Homing Stepper4 (Максимальна відстань 7000)
int a=100;
stepper4.setAcceleration(1000);
stepper4.setCurrentPosition(a); // When limit switch pressed set position to 0 steps
stepper4.setSpeed(1500);//1500
stepper4.runSpeed();
while (digitalRead(limitSwitch4) != 1){
stepper4.moveTo(a-50);
while (stepper4.currentPosition() != a-50) {
stepper4.run();
}
}
}

```

					БР.ПМІ-80.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

```

    }
    a-=50;
    stepper4.setCurrentPosition(a);
}
stepper4.setCurrentPosition(0); // When limit switch pressed set position to 0 steps
delay(20);

// Homing Stepper3 (100=35градусів, максимальний поворот до 800)
int b=-1500;
stepper3.setAcceleration(1000);
stepper3.setCurrentPosition(b); // When limit switch pressed set position to 0 steps
stepper3.setSpeed(-1500);//1500
stepper3.runSpeed();
while (digitalRead(limitSwitch3) != 1){
    stepper3.moveTo(b+50);
    while (stepper3.currentPosition() != b+50) {
        stepper3.run();
    }
    b+=50;
    stepper3.setCurrentPosition(b);
}
stepper3.setCurrentPosition(0); // When limit switch pressed set position to 0 steps
delay(20);

// Homing Stepper2 (норм макс позиція 2000, може бути трохи більша)
int c=1000;
stepper2.setAcceleration(1000);
stepper2.setCurrentPosition(c); // When limit switch pressed set position to 0 steps
stepper2.setSpeed(1500);//1500

```

					БР.ПМІ-80.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

```

stepper2.runSpeed();
while (digitalRead(limitSwitch2) != 1){
  stepper2.moveTo(c-50);
  while (stepper2.currentPosition() != c-50) {
    stepper2.run();
  }
  c-=50;
  stepper2.setCurrentPosition(c);
}
stepper2.setCurrentPosition(0); // When limit switch pressed set position to 0 steps
delay(20);

// Homing Stepper1 (норм макс позиція 3500, може бути трохи більша)
int d=1000;
stepper1.setAcceleration(1000);
stepper1.setCurrentPosition(d); // When limit switch pressed set position to 0 steps
stepper1.setSpeed(1500);//1500
stepper1.runSpeed();
while (digitalRead(limitSwitch1) != 1){
  stepper1.moveTo(d-50);
  while (stepper1.currentPosition() != d-50) {
    stepper1.run();
  }
  d-=50;
  stepper1.setCurrentPosition(d);
}
stepper1.setCurrentPosition(0); // When limit switch pressed set position to 0 steps
delay(20);
}

```

					БР.ПМІ-80.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

БР.ПМІ-80.00.001

Літ.

Маса

Масштаб

База робота

1:1

Аркуш 1

Аркушів 17

РЛА ДСТУ 1212-12

*ІФНТУНГ
ПМІ-19-1*

Копіював

Формат А1

<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>
-------------	-------------	-----------------	--------------	-------------

<i>Розроб.</i>		<i>Кобилянська І. В.</i>		
----------------	--	--------------------------	--	--

<i>Перев.</i>		<i>Панчук В. Г.</i>		
---------------	--	---------------------	--	--

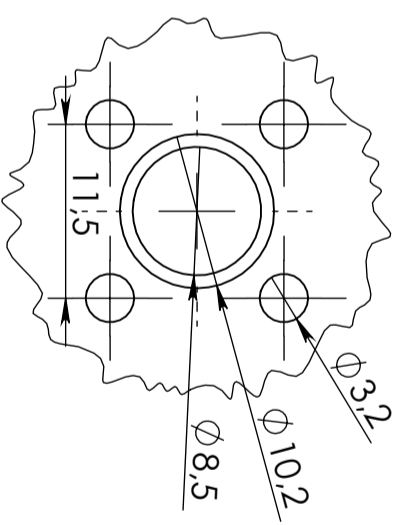
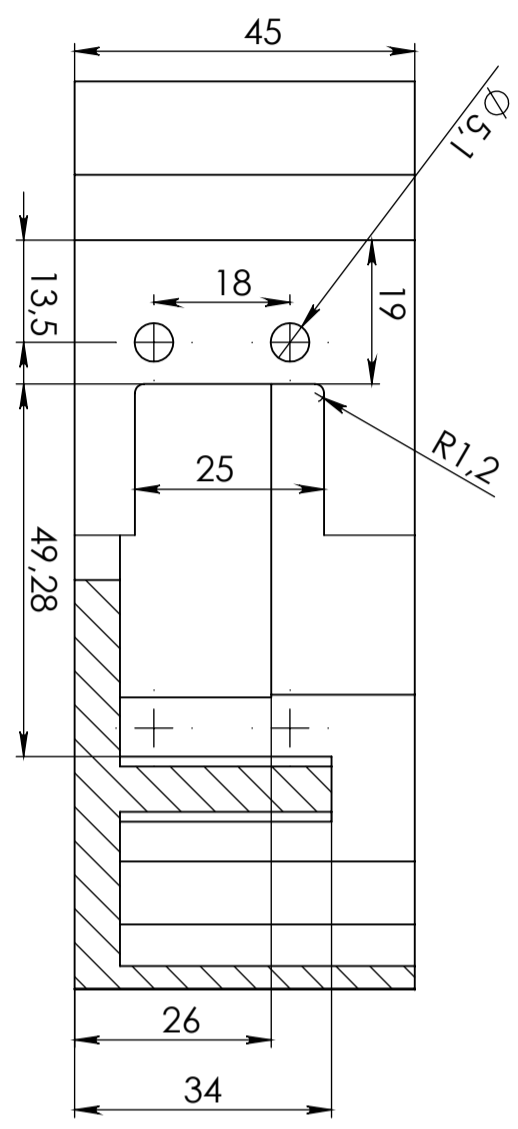
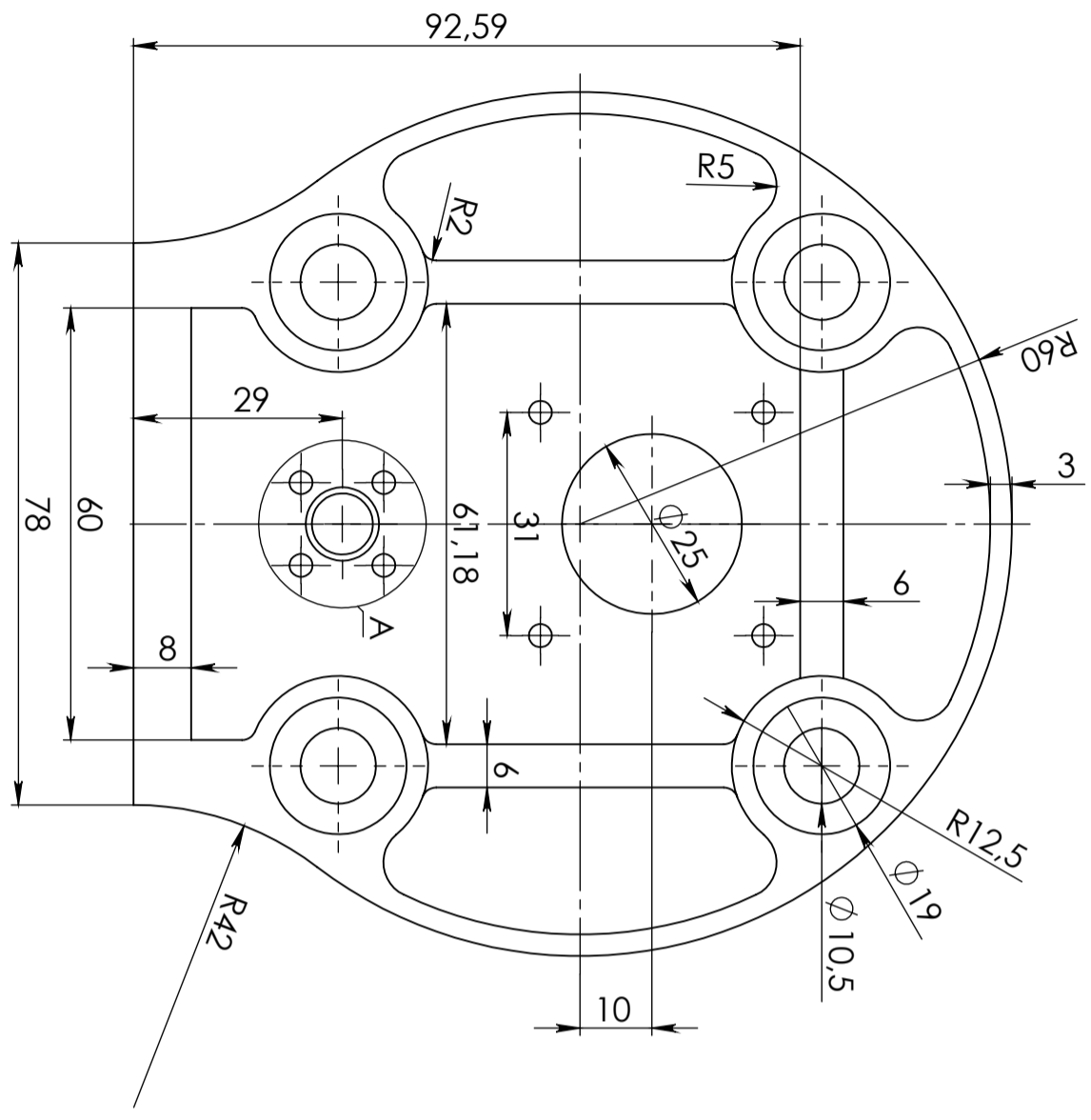
<i>Т.контр.</i>				
-----------------	--	--	--	--

<i>Нач. КБ</i>				
----------------	--	--	--	--

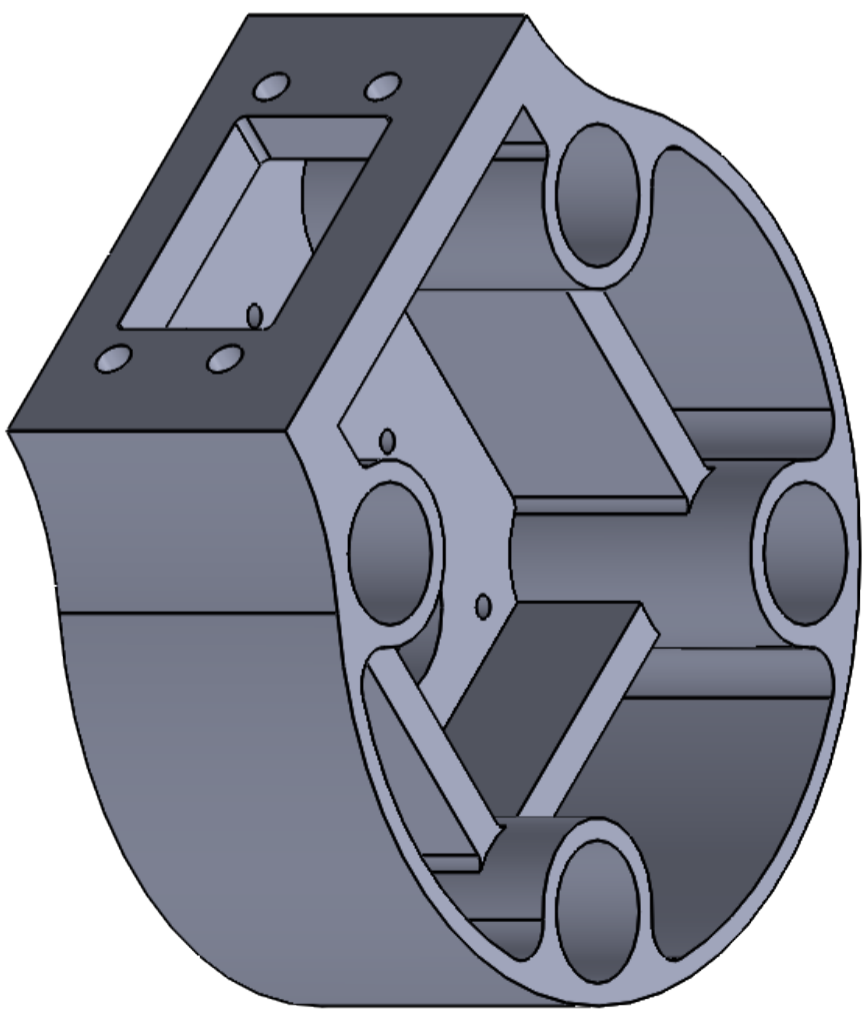
<i>Н.контр.</i>				
-----------------	--	--	--	--

<i>Утв.</i>				
-------------	--	--	--	--

Інв. № ориг.	Підпис та дата	Взам. інв. №	Інв. № дубл.	Підпис та дата



A 2:1



Змін Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	<p>БР.ПМІ-80.00.002</p> <p>Платформа для кріплення осі Z</p> <p>РЛА ДСТУ 1212-12</p>	Лит.	Маса	Масштаб
Розроб.	Кодильняська І. В.				Аркуш 2	Аркушів 17	1:1
Перев.	Панчук В. Г.						
Т. констр.							
Н. констр.							
Утв.							

БР.ПМІ-80.00.002

Лім.

Маса

Масштаб

Змн. Арк. № докум. Підп. Дата

Розроб. Кобилянська І. В.

Перев. Панчук В. Г.

Т.контр.

Н.контр.

Утв.

Платформа для кріплення осі Z

1:1

Аркуш 2

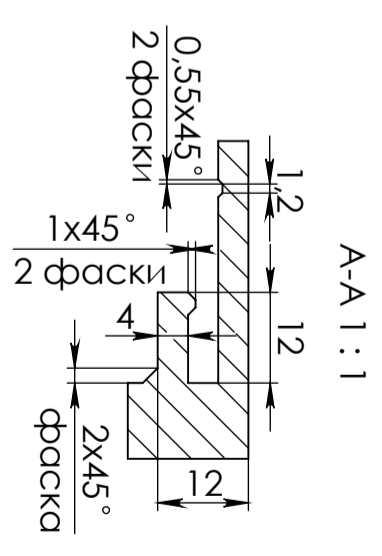
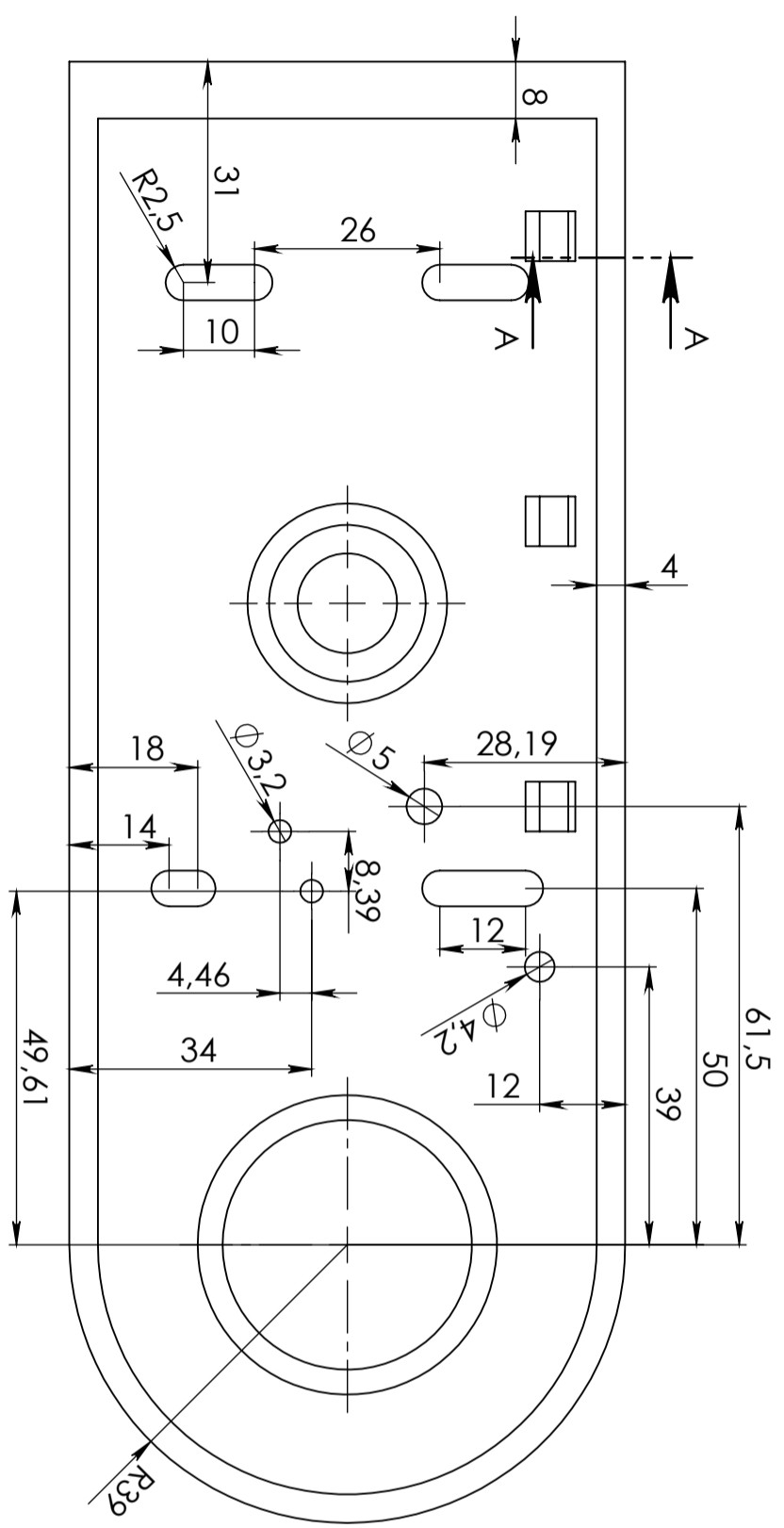
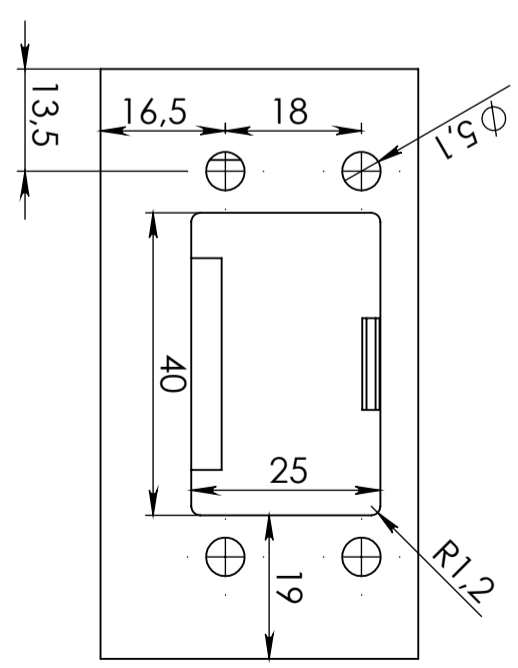
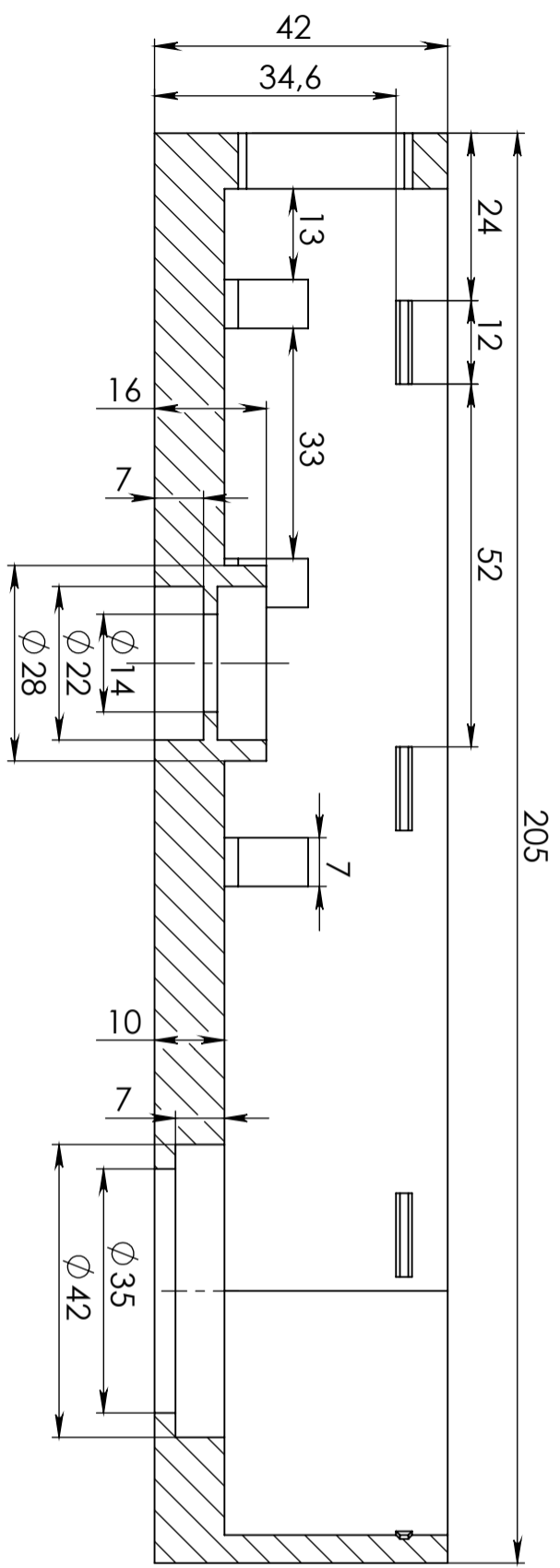
Аркушів 17

PLA ДСТУ 1212-12

*ІФНТУНГ
ПМІ-19-1*

Копіював

Формат А3



Інв. № ориг.	Підпис та дата	Взам. інв. №	Інв. № дубл.	Підпис та дата

БР.ПМІ-80.00.003			
Ланка 1			
Змін. Арк.	№ док.ум.	Підп.	Дата
Розроб.	Кодлявська І. В.		
Перев.	Панчук В. Г.		
Т. констр.			
Н. констр.			
Утв.			
РЛД ДСТУ 1212-12		ІФНТУНГ ПМІ-19-1	
Лит.	Маса	Масштаб	1:1
Аркуш 3	Аркушів 17		

БР.ПМІ-80.00.003

Літ.

Маса

Масштаб

Змн. Арк. № докум. Підп. Дата

Розроб. Кобилянська І. В.

Перев. Панчук В. Г.

Т.контр.

Н.контр.

Утв.

Ланка 1

1:1

Аркуш 3

Аркушів 17

РЛА ДСТУ 1212-12

*ІФНТУНГ
ПМІ-19-1*

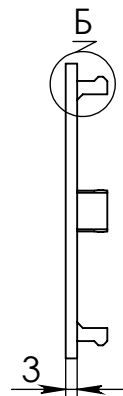
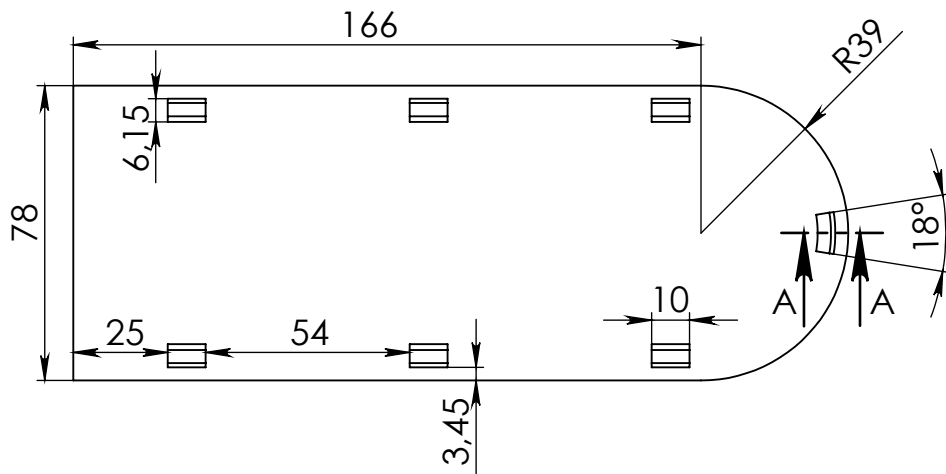
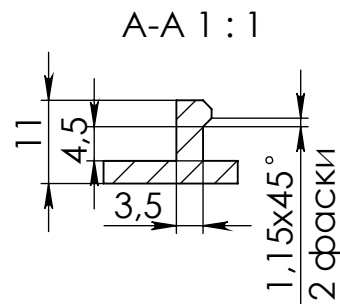
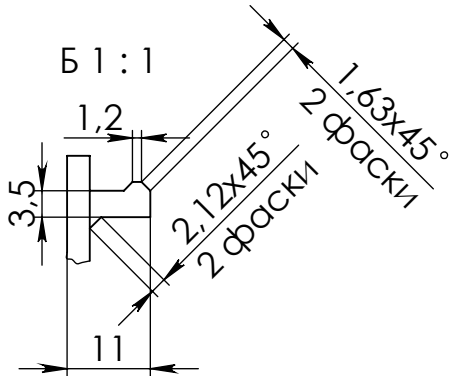
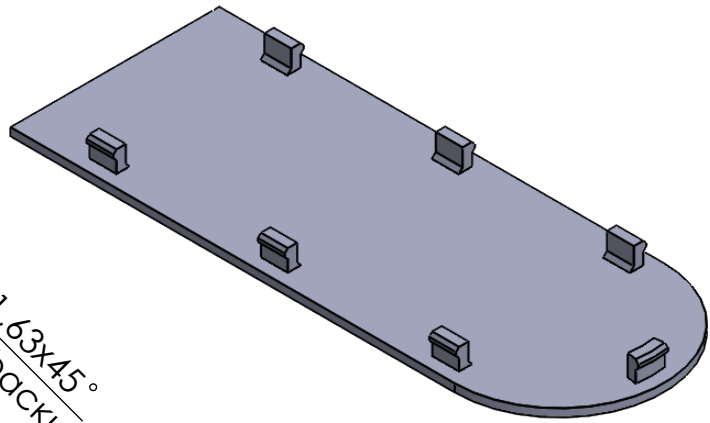
Копіював

Формат А3

БР.ПМІ-80.00.004

Перв. застосує.

Довід. №



Підпис та дата

Інв. № дцдл.

Взам. інв. №

Підпис та дата

Інв. № ориг.

БР.ПМІ-80.00.004

Змн. Арк.	№ докум.	Підп.	Дата
Розроб.	Кобилянська І. В.		
Перев.	Панчук В. Г.		
Т.контр.			
Нач. КБ			
Н.контр.			
Утв.			

Кришка ланки 1

PLA ДСТУ 1212-12

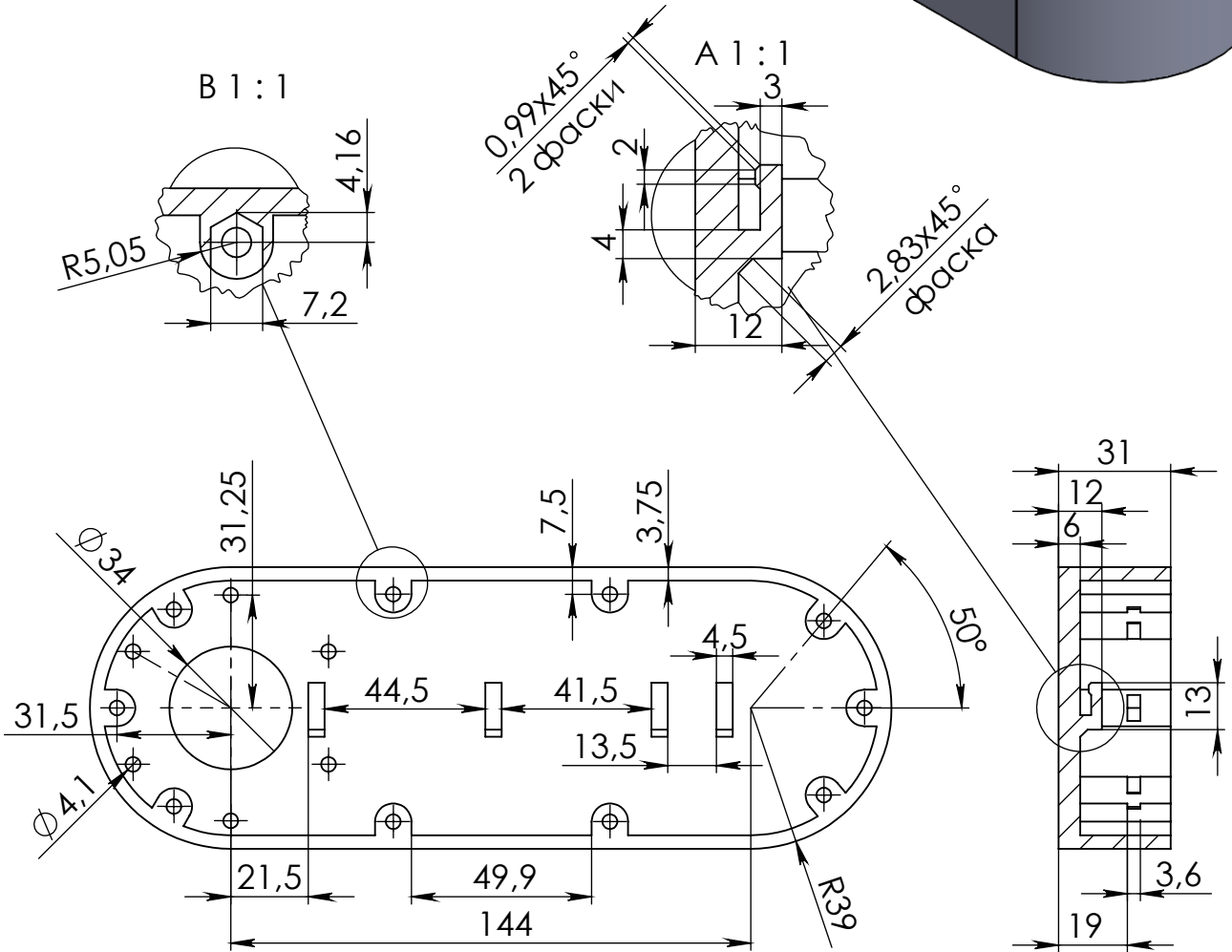
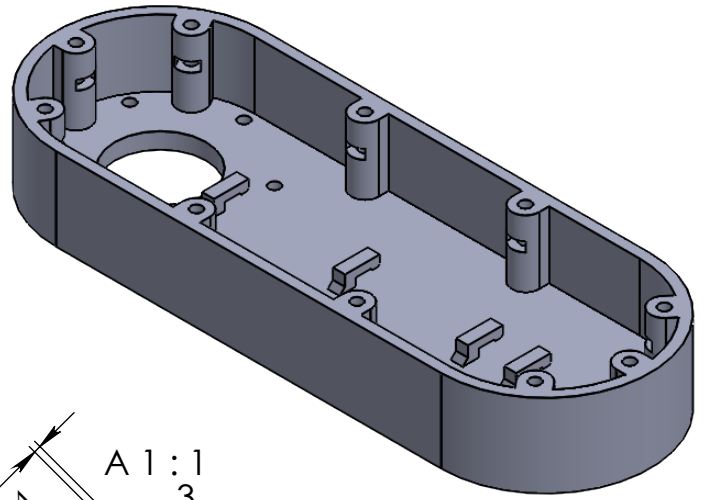
Літ.	Маса	Масштаб
		1:2
Аркцш 4		Аркцшів 17

ІФНТУНГ
ПМІ-19-1

БР.ПМІ-80.00.005

Перв. застосує.

Довід. №



Підпис та дата

Інв. № дцдл.

Взам. інв. №

Підпис та дата

Інв. № ориг.

БР.ПМІ-80.00.005

Змн. Арк.	№ докум.	Підп.	Дата
Розроб.	Кобілянська І. В.		
Перев.	Панчук В. Г.		
Т.контр.			
Нач. КБ			
Н.контр.			
Утв.			

Ланка 2

Літ. Маса Масштаб

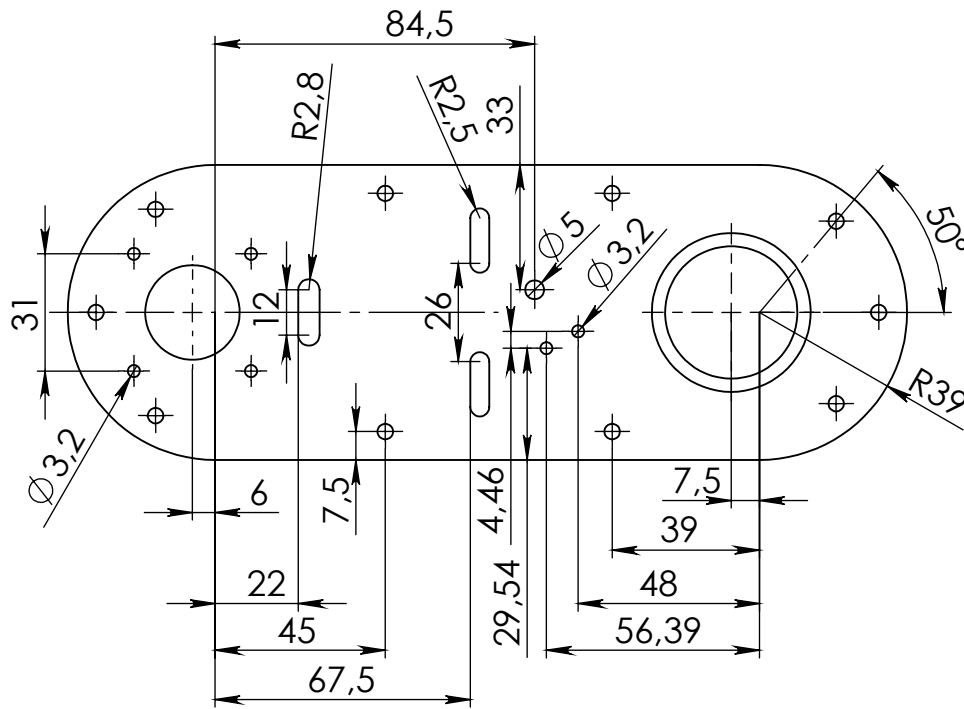
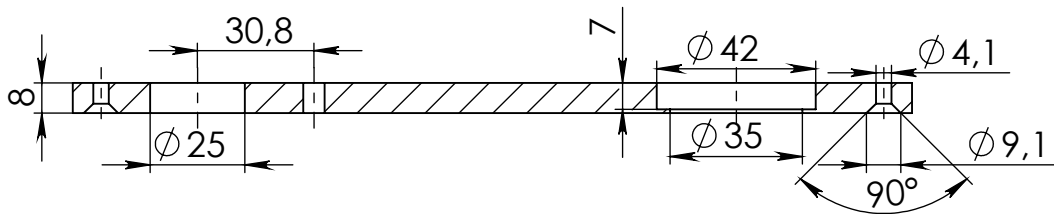
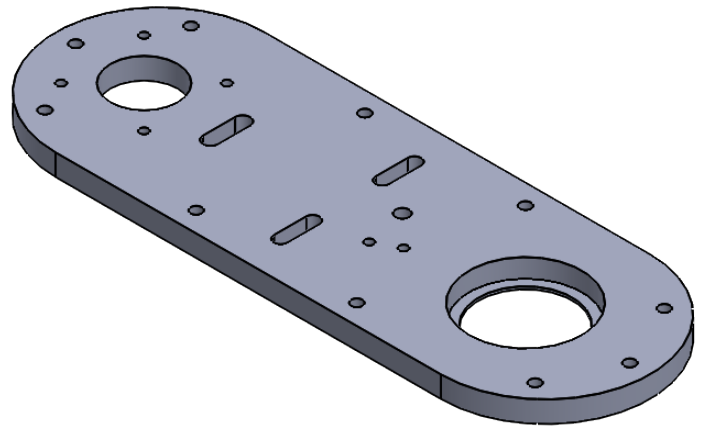
1:2

Аркцш 5 Аркцшів 17

PLA ДСТУ 1212-12

ІФНТУНГ
ПМІ-19-1

БР.ПМІ-80.00.006



Перв. застосує.

Довід. №

Підпис та дата

Інв. № дубл.

Взам. інв. №

Підпис та дата

Інв. № ориг.

БР.ПМІ-80.00.006

Змн. Арк.	№ докум.	Підп.	Дата
Розроб.	Кобилянська І. В.		
Перев.	Панчук В. Г.		
Т.контр.			
Нач. КБ			
Н.контр.			
Утв.			

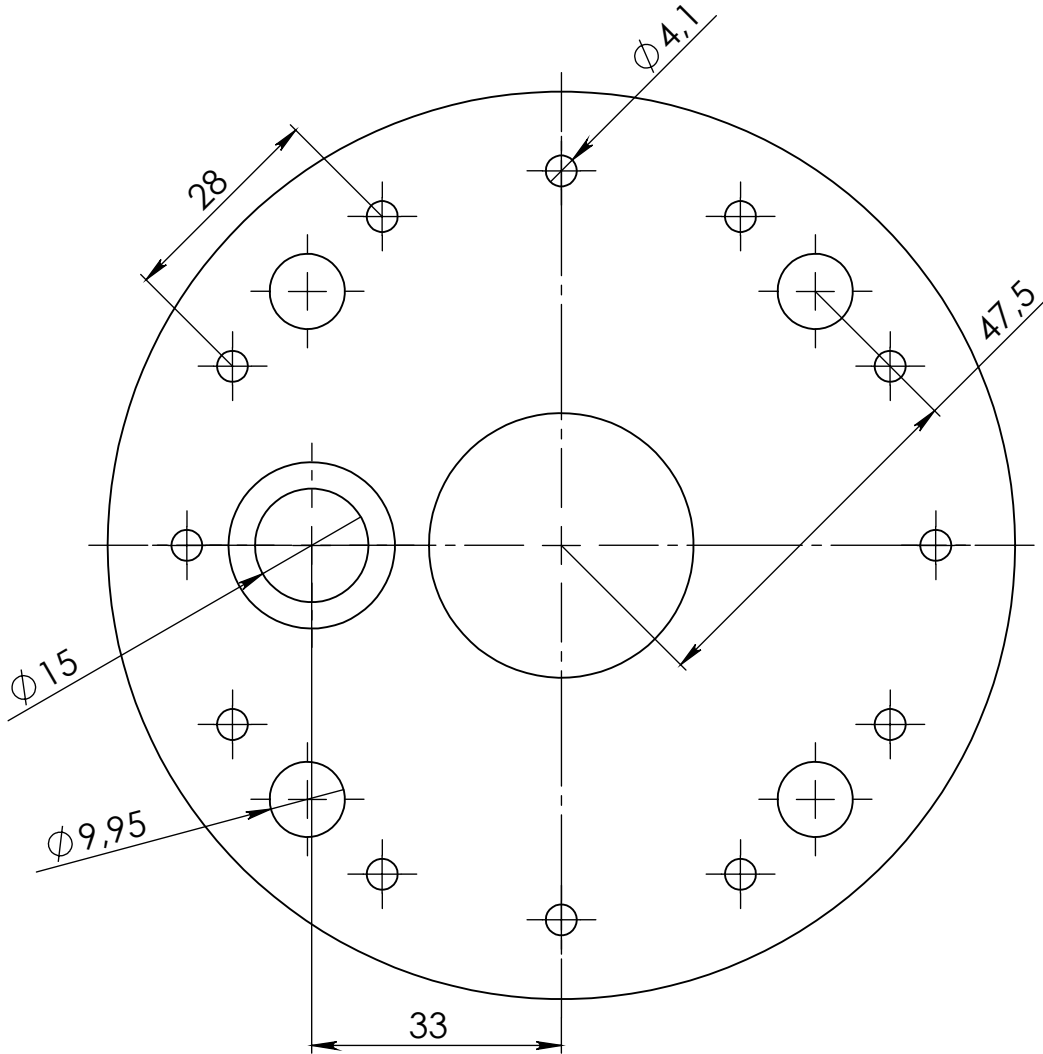
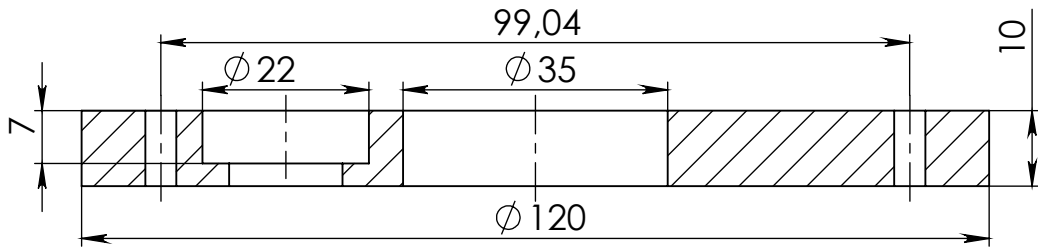
Кришка ланки 2

PLA ДСТУ 1212-12

Літ.	Маса	Масштаб
		1:2
Аркуш 6		Аркушів 17

ІФНТУНГ
ПМІ-19-1

БР.ПМІ-80.00.007



Перв. застосує.

Довід. №

Підпис та дата

Інв. № дцдл.

Взам. інв. №

Підпис та дата

Інв. № ориг.

БР.ПМІ-80.00.007

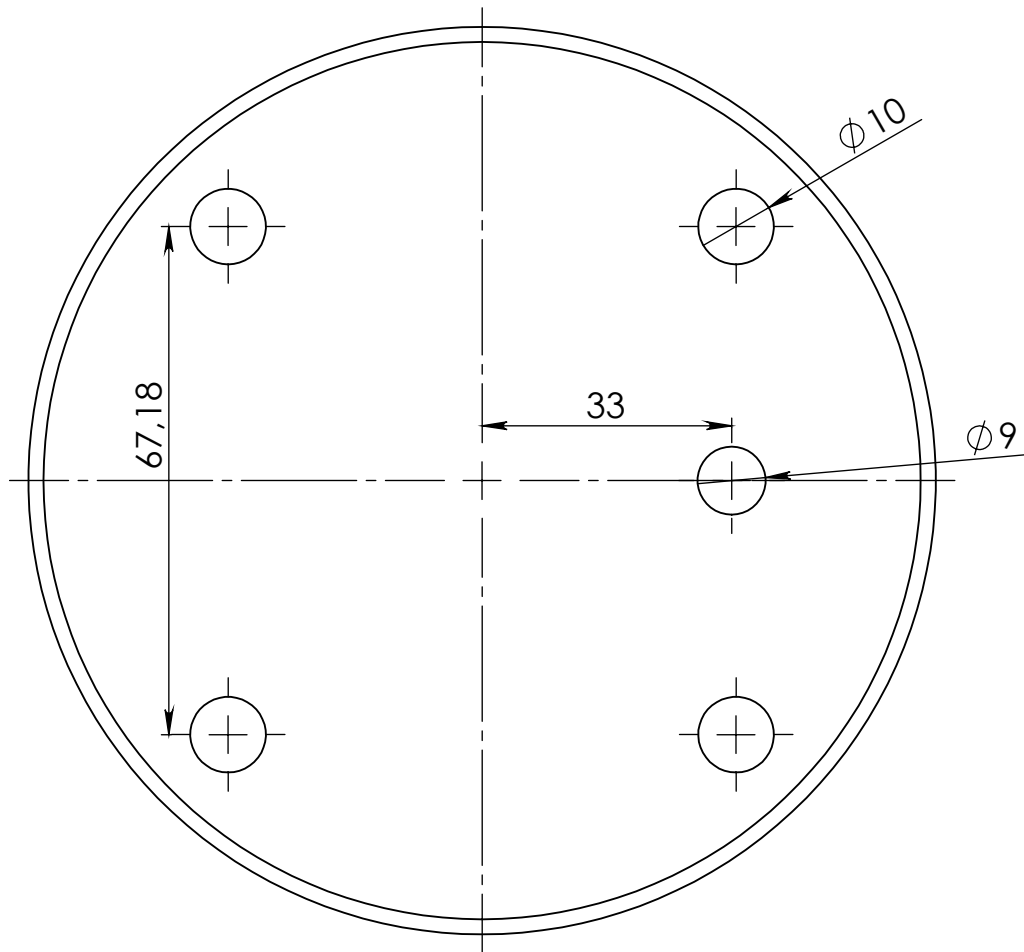
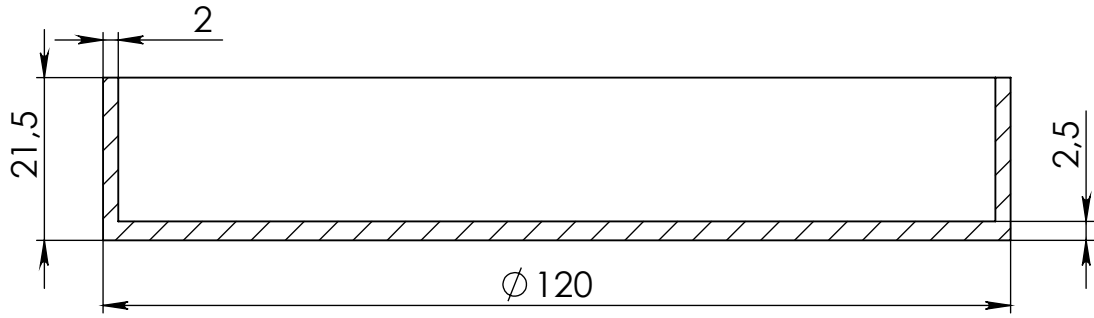
Змн. Арк.	№ докум.	Підп.	Дата
Розроб.	Кобілянська І. В.		
Перев.	Панчук В. Г.		
Т.контр.			
Нач. КБ			
Н.контр.			
Утв.			

Нижня пластина осі Z

PLA ДСТУ 1212-12

Літ.	Маса	Масштаб
		1:1
Аркуш 7		Аркушів 17
		ІФНТУНГ ПМІ-19-1

БР.ПМІ-80.00.008



Перв. застосує.

Довід. №

Підпис та дата

Інв. № дубл.

Взам. інв. №

Підпис та дата

Інв. № ориг.

Змн. Арк.	№ докум.	Підп.	Дата
Розроб.	Кобилянська І. В.		
Перев.	Панчук В. Г.		
Т.контр.			
Нач. КБ			
Н.контр.			
Утв.			

БР.ПМІ-80.00.008

Крашка бази

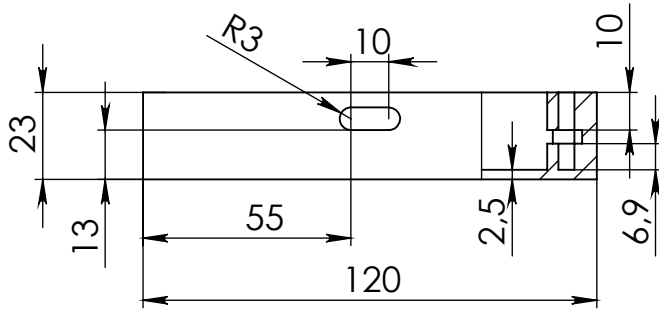
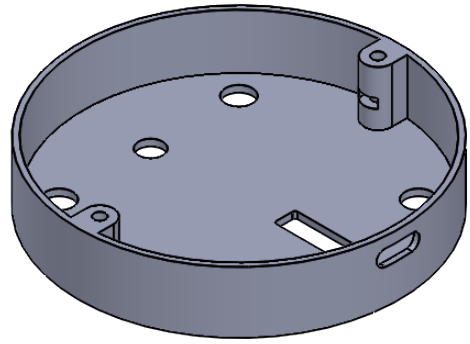
PLA ДСТУ 1212-12

Літ.	Маса	Масштаб
		1:1
Аркуш 8		Аркушів 17
		ІФНТУНГ ПМІ-19-1

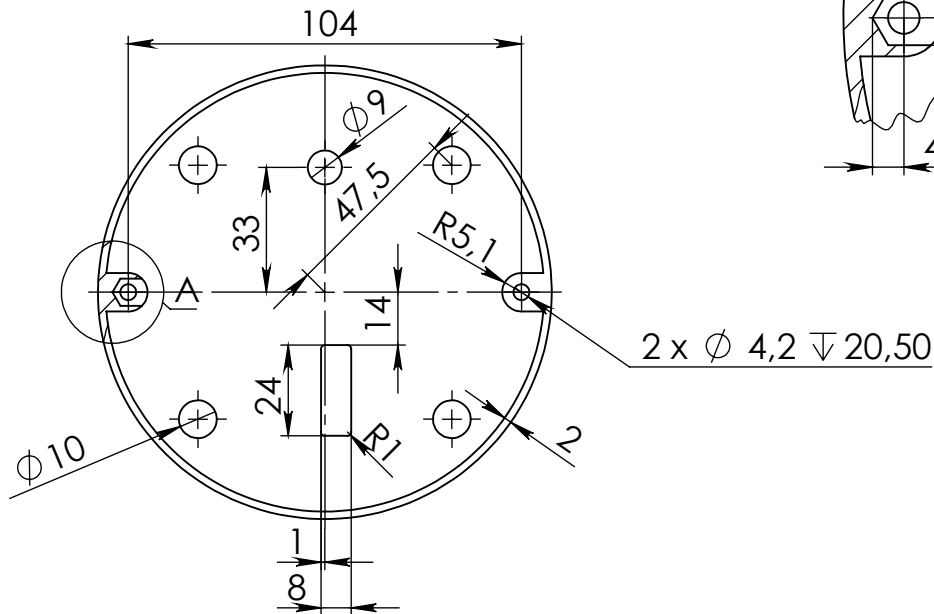
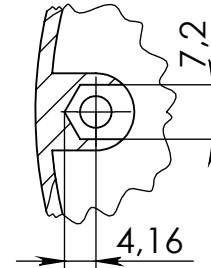
БР.ПМІ-80.00.009

Перв. застосує.

Довід. №



A 1:1



Підпис та дата

Інв. № дцбл.

Взам. інв. №

Підпис та дата

Інв. № ориг.

БР.ПМІ-80.00.009

Змн. Арк.	№ докум.	Підп.	Дата
Розроб.	Кобілянська І. В.		
Перев.	Панчук В. Г.		
Т.контр.			
Нач. КБ			
Н.контр.			
Утв.			

Верхня кришка

Літ. Маса Масштаб

1:2

Аркцш 9 Аркцшів 17

PLA ДСТУ 1212-12

ІФНТУНГ
ПМІ-19-1

БР.ПМІ-80.00.010

Перв. застосує.

Довід. №

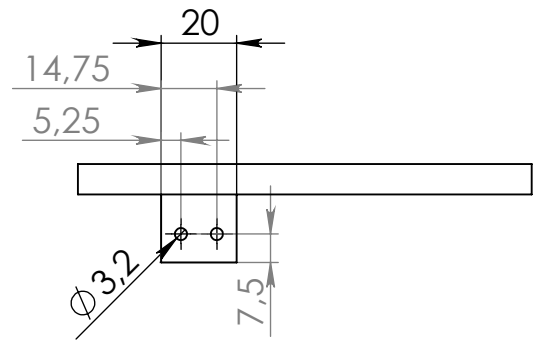
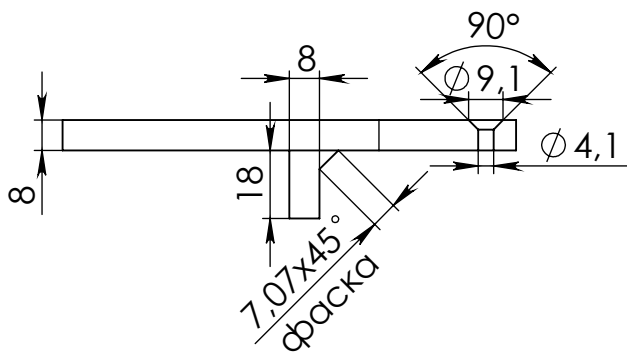
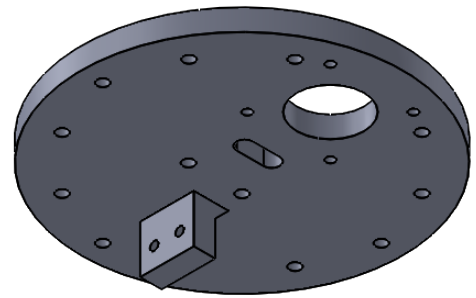
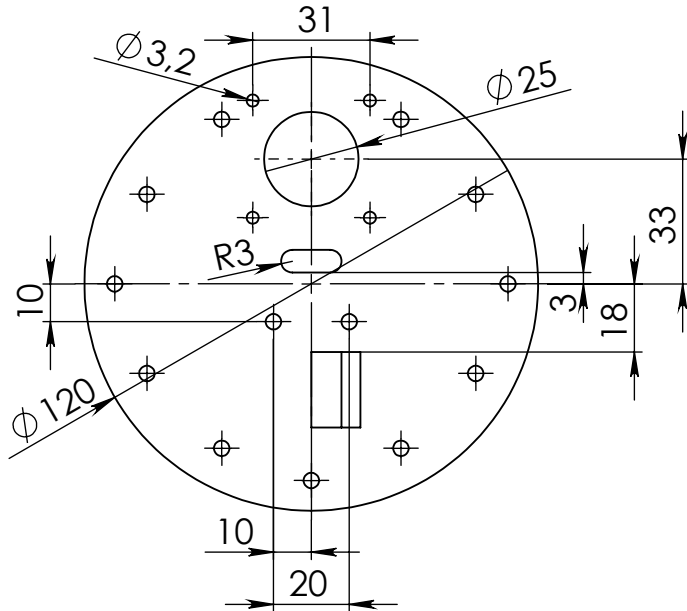
Підпис та дата

Інв. № дубл.

Взам. інв. №

Підпис та дата

Інв. № ориг.



БР.ПМІ-80.00.010

Змн. Арк.	№ докум.	Підп.	Дата
Розроб.	Кобилянська І. В.		
Перев.	Панчук В. Г.		
Т.контр.			
Нач. КБ			
Н.контр.			
Утв.			

Вісь Z зверху

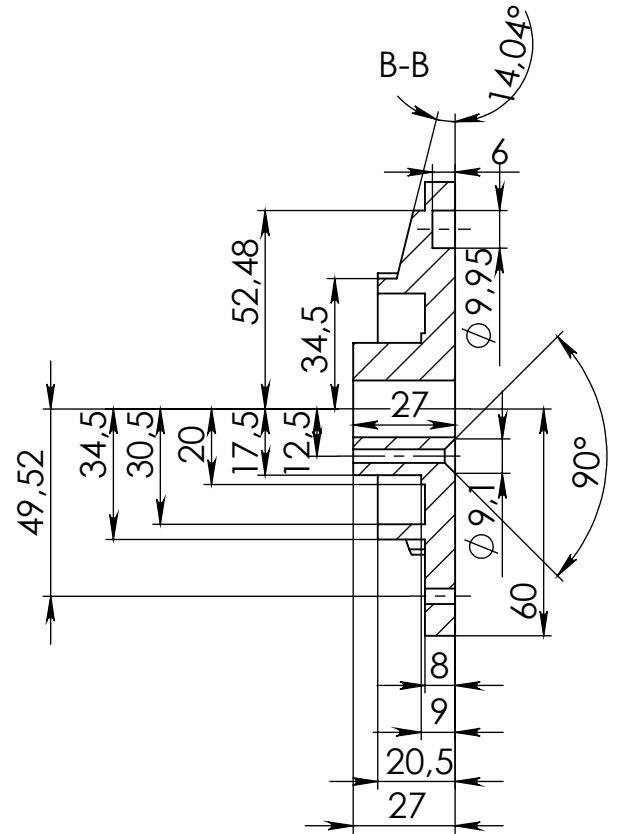
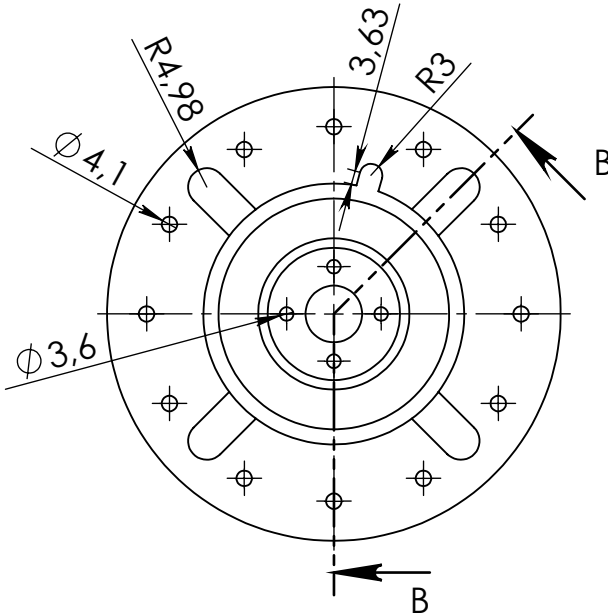
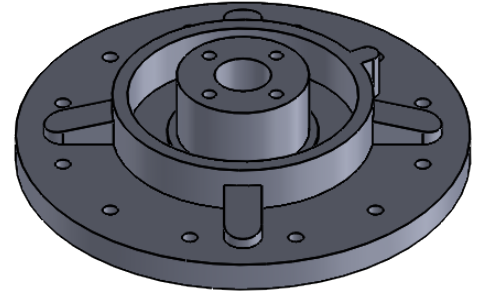
PLA ДСТУ 1212-12

Літ.	Маса	Масштаб
		1:2
Аркуш 10		Аркушів 17
		ІФНТУНГ ПМІ-19-1

БР.ПМІ-80.00.011

Перв. застосує.

Довід. №



Підпис та дата

Інв. № дубл.

Взам. інв. №

Підпис та дата

Інв. № ориг.

Змн. Арк.	№ докум.	Підп.	Дата
Розроб.	Кобилянська І. В.		
Перев.	Панчук В. Г.		
Т.контр.			
Нач. КБ			
Н.контр.			
Утв.			

БР.ПМІ-80.00.011

Муфта J1

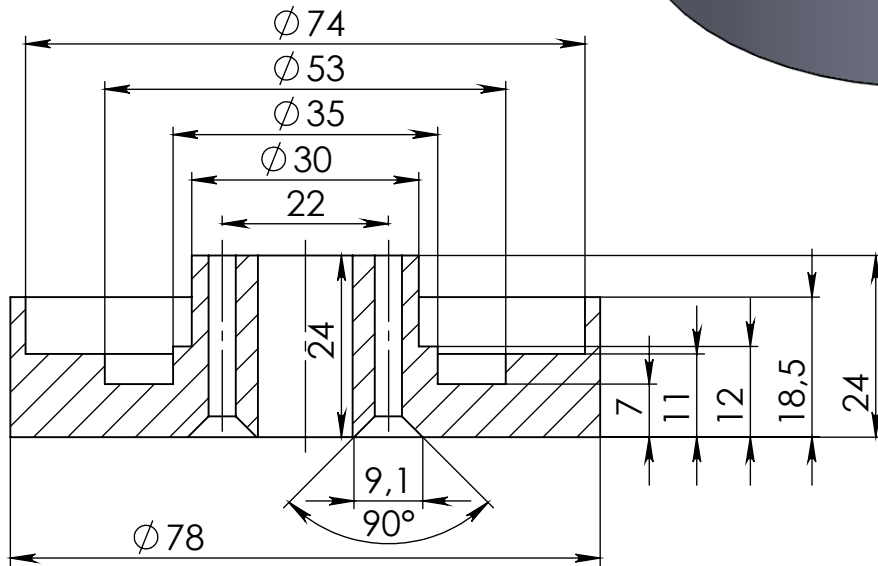
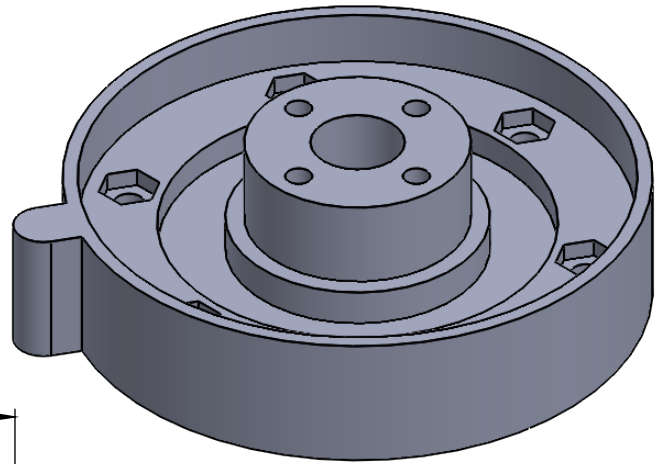
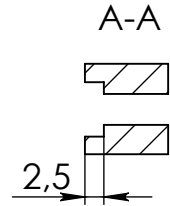
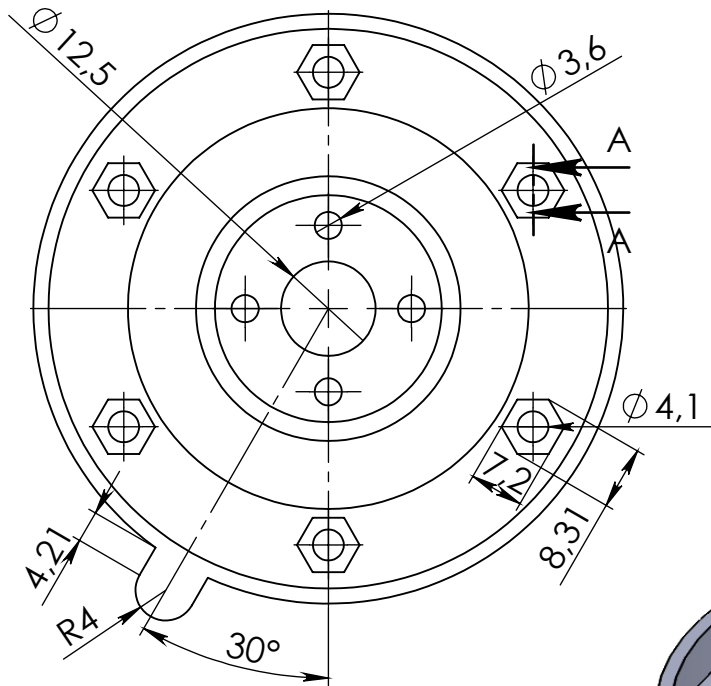
PLA ДСТУ 1212-12

Літ.	Маса	Масштаб
		1:2
Аркуш 11		Аркушів 17
ІФНТУНГ		ПМІ-19-1

БР.ПМІ-80.00.012

Перв. застосує.

Довід. №



Підпис та дата

Інв. № дцдл.

Взам. інв. №

Підпис та дата

Інв. № ориг.

БР.ПМІ-80.00.012

Змн. Арк.	№ докум.	Підп.	Дата
Розроб.	Кодиланська І. В.		
Перев.	Панчук В. Г.		
Т.контр.			
Нач. КБ			
Н.контр.			
Утв.			

Муфта J2

Літ. Маса Масштаб

1:1

Аркцш 12 Аркцшів 17

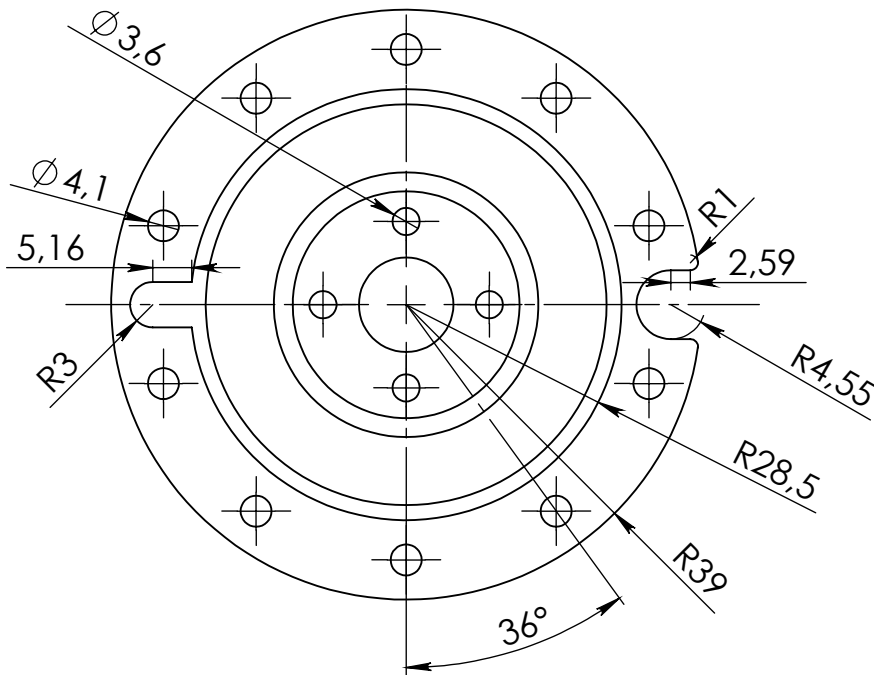
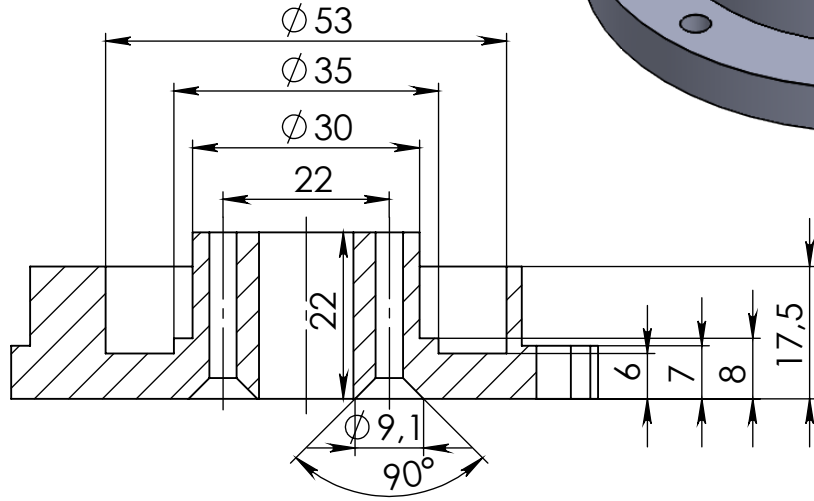
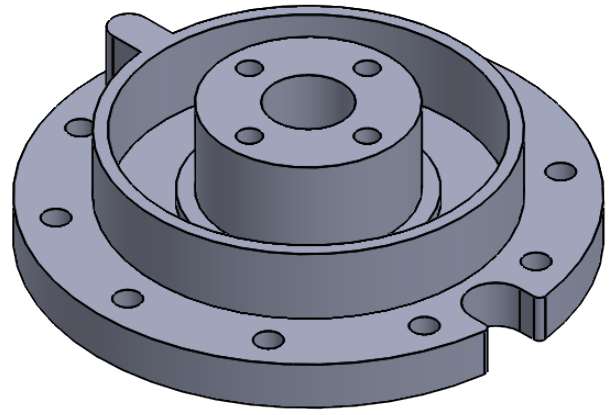
PLA ДСТУ 1212-12

ІФНТУНГ
ПМІ-19-1

БР.ПМІ-80.00.013

Перв. застосує.

Довід. №



Підпис та дата

Інв. № дубл.

Взам. інв. №

Підпис та дата

Інв. № ориг.

БР.ПМІ-80.00.013

Змн. Арк.	№ докум.	Підп.	Дата
Розроб.	Кобилянська І. В.		
Перев.	Панчук В. Г.		
Т.контр.			
Нач. КБ			
Н.контр.			
Утв.			

Муфта ІЗ

Літ.	Маса	Масштаб
		1:1

Аркцш 13 Аркцшів 17

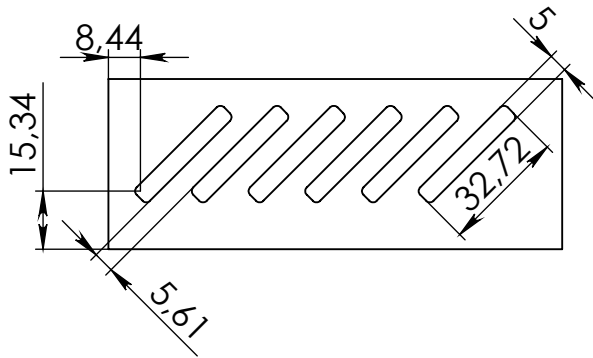
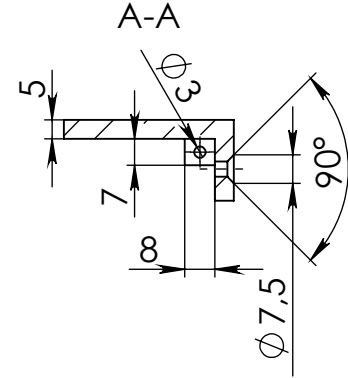
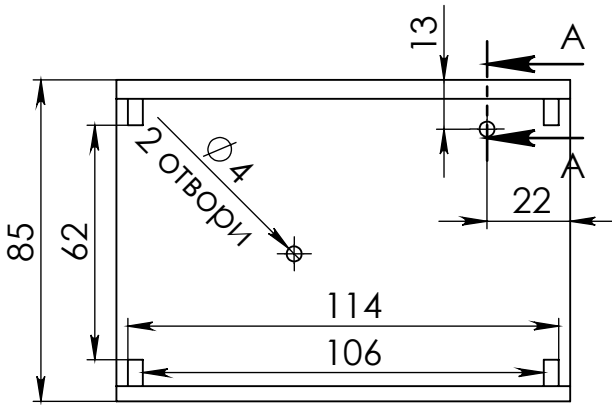
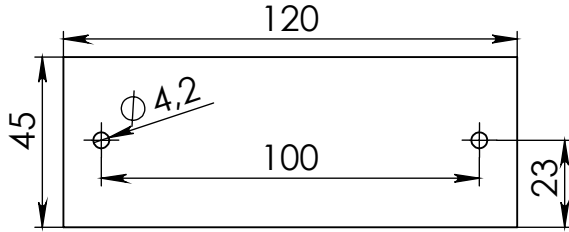
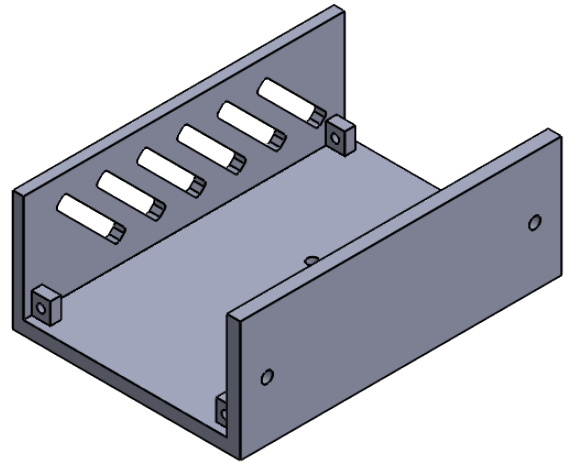
PLA ДСТУ 1212-12

ІФНТУНГ
ПМІ-19-1

БР.ПМІ-80.00.014

Перв. застосує.

Довід. №



Підпис та дата

Інв. № дцдл.

Взам. інв. №

Підпис та дата

Інв. № ориг.

Змн. Арк.	№ докум.	Підп.	Дата
Розроб.	Кобілянська І. В.		
Перев.	Панчук В. Г.		
Т.контр.			
Нач. КБ			
Н.контр.			
Утв.			

БР.ПМІ-80.00.014

Корпус коробки для Arduino

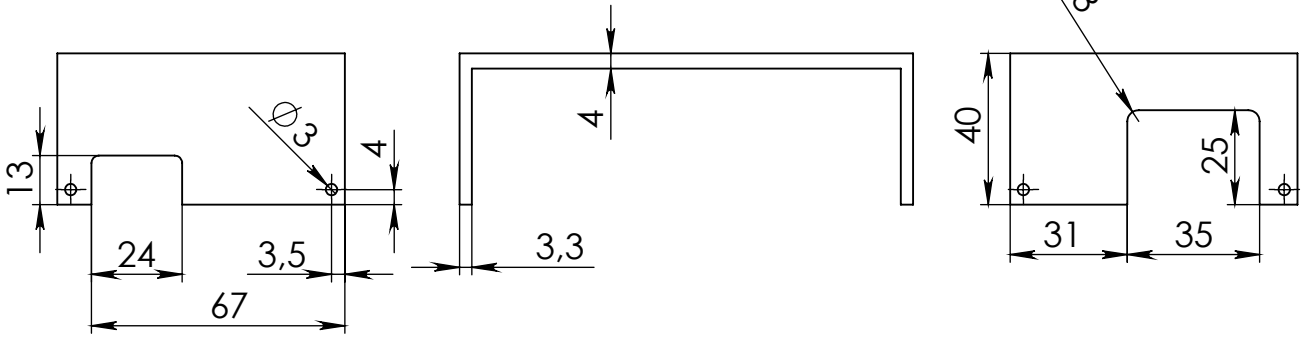
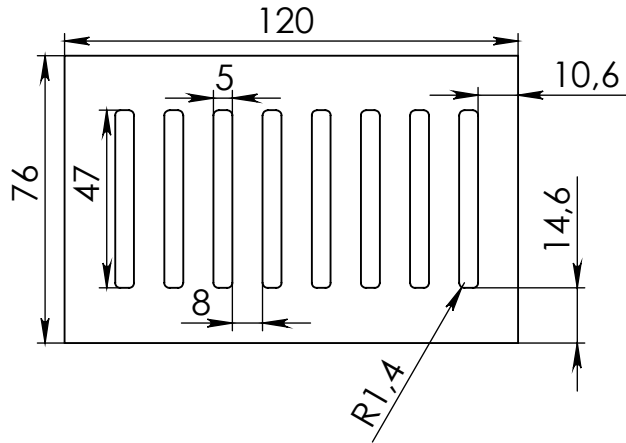
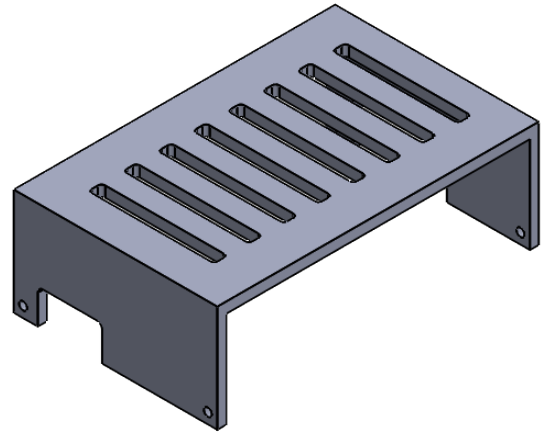
PLA ДСТУ 1212-12

Літ.	Маса	Масштаб
		1:2
Аркуш 14		Аркушів 17
		ІФНТУНГ ПМІ-19-1

БР.ПМІ-80.00.015

Перв. застосує.

Довід. №



Підпис та дата

Інв. № дубл.

Взам. інв. №

Підпис та дата

Інв. № ориг.

БР.ПМІ-80.00.015

Змн. Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

Кришка корбки
для Arduino

Літ.	Маса	Масштаб
		1:2

Аркцш 15 | Аркцшів 17

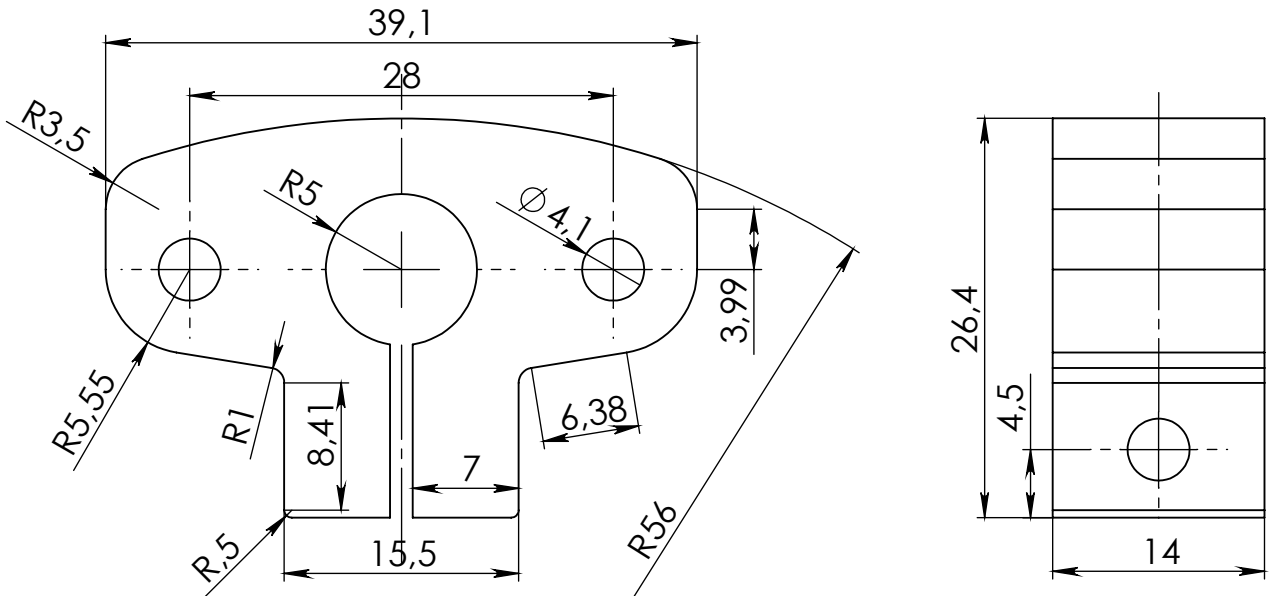
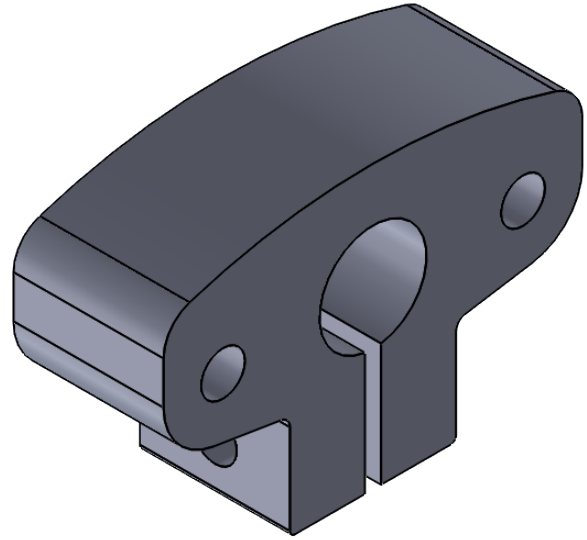
PLA ДСТУ 1212-12

ІФНТУНГ
ПМІ-19-1

БР.ПМІ-80.00.017

Перв. застосує.

Довід. №



Підпис та дата

Інв. № дубл.

Взам. інв. №

Підпис та дата

Інв. № ориг.

БР.ПМІ-80.00.016

Змн. Арк.	№ докум.	Підп.	Дата
Розроб.	Кобилянська І. В.		
Перев.	Панчук В. Г.		
Т.контр.			
Нач. КБ			
Н.контр.			
Утв.			

Затискач для стрижня

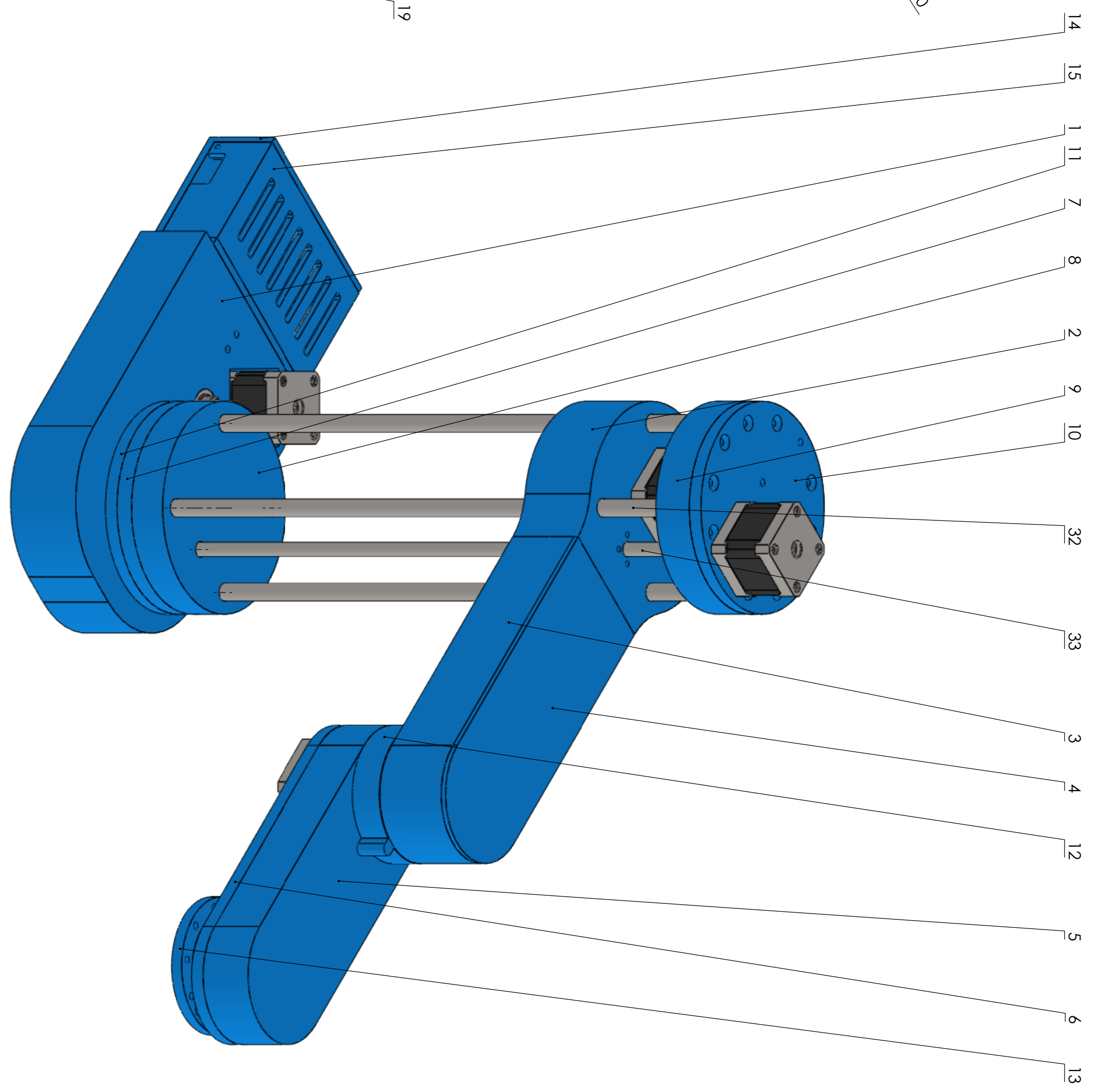
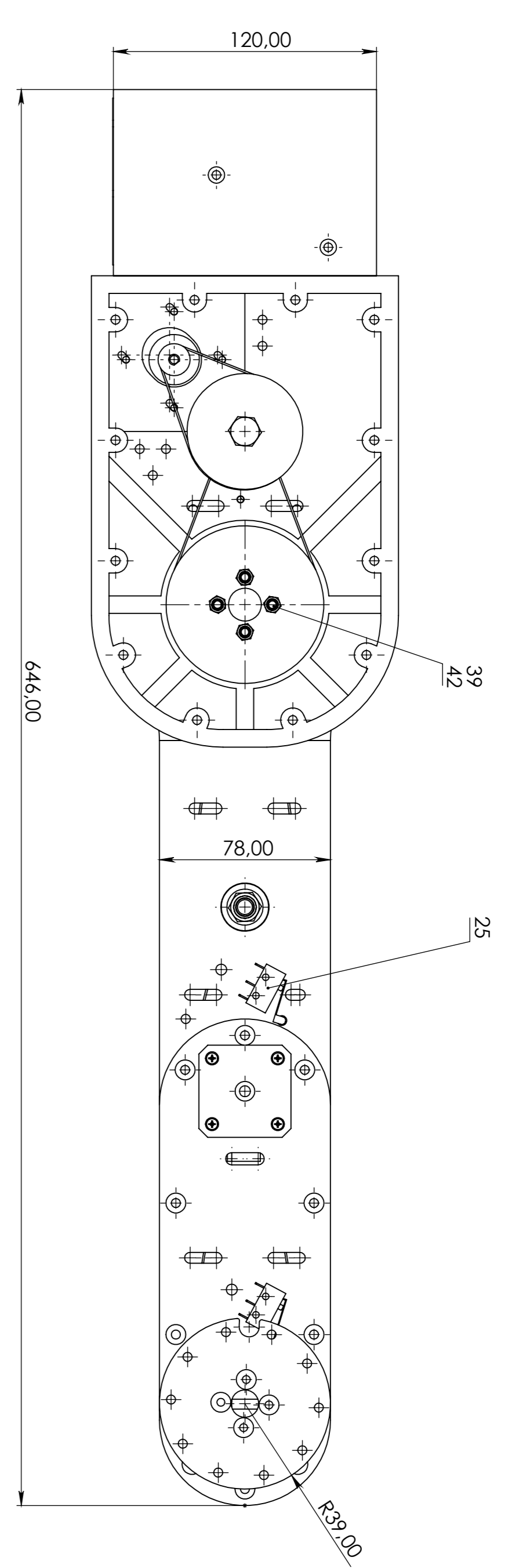
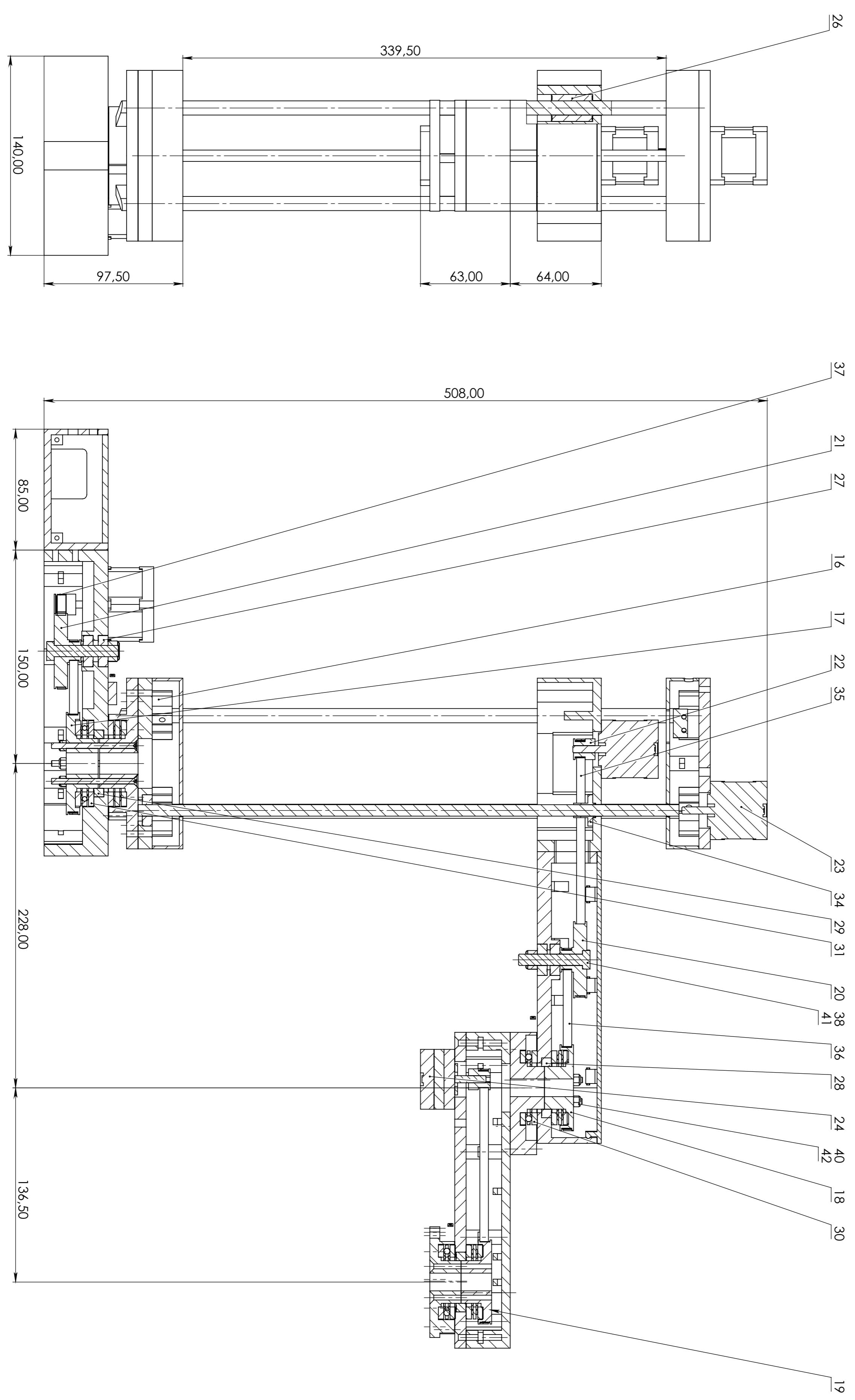
Літ.	Маса	Масштаб
		2:1

Аркуш 16 | Аркушів 17

PLA ДСТУ 1212-12

ІФНТУНГ
ПМІ-19-1

Інв. № ориг.	Підпис та дата	Взам. інв. №	Інв. № дубл.	Підпис та дата	Довід. №	Перв. застосує
--------------	----------------	--------------	--------------	----------------	----------	----------------



БЛ ПМІ-80 00 000 СБ				Лист	Місце	Місцешард
Знач. друк	№ докум.	Лист	Дата	Загальний вигляд роботи SCARA		
Розроб	Коректор	Лист	Дата	Клавіатурне Креслення		
Перев.	Лист	В. П.		Друк	Лист	1/2
Технік	Лист	В. П.		Друк	Лист	
Нач. КБ	Лист	В. П.		ФОНТ ЧНГ	Лист	
Інженер	Лист	В. П.		ПМІ-99-1	Лист	
СМБ	Лист	В. П.		Формат А1	Лист	

БП.ПМІ-80.00.000.СБ

*Загальний вигляд робота SCARA
Складальне креслення*

Літ.

Маса

Масштаб

1:2

Аркуш

Аркушів

*ІФНТУНГ
ПМІ-19-1*

Змн. Арк. № докум. Підп. Дата

Розроб. Кобилянська І. В.

Перев. Панчук В. Г.

Т.контр.

Нач. КБ

Н.контр.

Утв.

SCARA Складальне креслення

Копіював

Формат А1

Форм.	Зона	Поз.	Позначення	Назва	К-ть.	Прим.
				<u>Документація</u>		
			БП.ПМІ-080.00.000.ПЗ	Пояснювальна записка		
A1			БП.ПМІ-080.00.000.СБ	Складальний кресленник	1	
				<u>Деталі</u>		
A1	1		БП.ПМІ-080.00.001	База робота	1	
A3	2		БП.ПМІ-080.00.002	Платформа для кріплення осі Z	1	
A3	3		БП.ПМІ-080.00.003	Ланка 1	1	
A4	4		БП.ПМІ-080.00.004	Кришка ланки 1	1	
A4	5		БП.ПМІ-080.00.005	Ланка 2	1	
A4	6		БП.ПМІ-080.00.006	Кришка ланки 1	1	
A4	7		БП.ПМІ-080.00.007	Нижня пластина осі Z	1	
A4	8		БП.ПМІ-080.00.008	Кришка бази	1	
A4	9		БП.ПМІ-080.00.009	Верхня кришка	1	
A4	10		БП.ПМІ-080.00.010	Вісь Z зверху	1	
A4	11		БП.ПМІ-080.00.011	Муфта J1	1	
A4	12		БП.ПМІ-080.00.012	Муфта J2	1	
A4	13		БП.ПМІ-080.00.013	Муфта J3	1	
A4	14		БП.ПМІ-080.00.014	Корпус коробки для Arduino	1	
A4	15		БП.ПМІ-080.00.015	Кришка коробки для Arduino	1	
A4	16		БП.ПМІ-080.00.016	Затискач для стрижня	8	
				<u>Стандартні вироби</u>		
		17		Шків Z110-D70	1	
		18		Шків Z92-D60	1	
		19		Шків Z90-D58	1	

БП.ПМІ-080.00.000

Змі.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата
Розроб.		Кобілянська І. В.		
Перев.		Панчук В. Г.		
Т.контр.				
Н.контр.				
Чтв.				

**Загальний вигляд
робота SCARA
(специфікація)**

Літ.	Аркуш	Аркушів
	1	1

**ІФНТУНГ
ПМІ-19-1**

Форм.	Зона	Поз.	Позначення	Назва	К-ть.	Прим.
		20		Шків Z20/80-D17/53	1	
		21		Шків Z22/80-D15/52	1	
		22		Шків Z20-D8	3	
		23		Кроковий двигун NEMA 17-20	3	
		24		Кроковий двигун NEMA L24	1	
		25		Кінцевик	4	
				Підшипники:		
		26		Лінійний 10x19x29	4	
		27		Кульковий 8x22x7	5	
		28		Кульковий 30x42x7	2	
		29		Кульковий 35x47x7	1	
		30		Упорний 35x52x12	4	
		31		Упорний 40x60x13	2	
		32		Напрямний вал D10 L400	4	
		33		Ходовий гвинт D8 L380	1	
		34		Ходова гайка D8	1	
		35		Ремінь GT2 400	2	
		36		Ремінь GT2 300	2	
		37		Ремінь GT2 200	1	
		38		Болт M8x45	2	
		39		Болт M4x60	4	
		40		Болт M4x50	4	
		41		Контргайка M8	2	
		42		Контргайка M4	8	
				БП.ПМІ-080.00.000		
Змі	Арк.	№ докум	Підп.	Дата	Аркуш 2	