ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ
КАФЕДРА МОБІЛЬНИХ ТА ВІДЕОІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: «Розробка локальної мережі підприємства з 3D друку для покращення якості та швидкості виробничих процесів»

на здобуття освітнього ступеня магістра

зі спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка

освітньо-професійної програми Апаратура радіозв'язку, радіомовлення і телебачення

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

(підпис) Андрій КИРСЕНКО (Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Виконав: здобувач вищої освіти
групи АРДМ-62
Андрій КИРСЕНКО

Керівник: Наталія РУДЕНКО

Рецензент: В. М. Черевик

Київ – 2023

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Навчально-науковий інститут телекомунікацій

Кафедра Мобільних та відеоінформаційних технологій

Ступінь вищої освіти Магістр

Спеціальність 172 Телекомунікації та радіотехніка

Освітньо-професійна програма Апаратура радіозв'язку, радіомовлення і телебачення

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувачка кафедри МВТ
_____ Наталія РУДЕНКО
« » _____ 2023 року

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Кирсенку Андрію Сергійовичу

1. Тема кваліфікаційної роботи: «Розробка локальної мережі підприємства з 3d друку для покращення якості та швидкості виробничих процесів»,
керівник кваліфікаційної роботи Наталія РУДЕНКО, к.т.н., доцент,
затверджені наказом Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій від 19.10.2023 р. №145.

2. Строк подання кваліфікаційної роботи 25.12.2023 р.

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи:
   1. Опис обраного обладнання та його характеристик.
   2. Оцінка можливості модернізації обладнання.
   3. Процес модернізації обладнання.
   4. Оцінка виробничих процесів після модернізації обладнання.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):
   1. Основні характеристики наявного обладнання на виробництві.
   2. Розробка локальної мережі 3D принтерів для покращення продуктивності підприємства.
   3. Оцінка впливу локальної мережі та оновленого ПЗ на виробництво.

5. Перелік ілюстративного матеріалу: презентація.

6. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Підбір науково-технічної літератури	19.10.23	Викон.
2.	Аналіз поточного стану виробничих процесів підприємства	31.10.23	Викон.
3.	Розробка локальної мережі для інтеграції в технологію 3D друку	05.11.23	Викон.
4.	Оцінка впливу локальної мережі на виробництво	03.12.23	Викон.
5.	Висновки, вступ, реферат	10.12.23	Викон.
6.	Розробка презентації	17.12.23	Викон.

Здобувач вищої освіти _____ Андрій КИРСЕНКО
(підпис) *(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)*

Керівник кваліфікаційної роботи _____ Наталія РУДЕНКО
(підпис) *(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)*

РЕФЕРАТ

Текстова частина кваліфікаційної роботи на здобуття освітнього ступеня магістра: 78 стор., 59 рис., 18 дж.

Мета роботи – Масштабування та автоматизація виробництва, покращення якості та швидкості 3D друку за допомогою доступних та економічних 3D принтерів.

Об'єкт дослідження - Збільшення швидкості та якості виробничих процесів за рахунок провадження локальної мережі 3D принтерів на виробництві.

Предмет дослідження – методи збільшення продуктивності виробництва без погіршення якості продукції та автоматизація виробництва.

Короткий зміст роботи: У роботі досліджено проблему низької швидкості та якості друку 3D принтерів, що пропонує сучасний ринок. Описано параметри які впливають на швидкість та якість друку, вивчено та перевірено на практиці можливість покращення 3D принтерів та об'єднання їх у мережу для зручності керування ними.

Проведене порівняння продуктивності виробництва після впровадження локальної мережі та нового програмного забезпечення принтерів.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: БЕЗПРОВОДОВА ЛОКАЛЬНА МЕРЕЖА; МЕРЕЖА БЕЗПРОВОДОВОГО КЕРУВАННЯ ОБЛАДНАННЯМ ПІДПРИЄМСТВА, ПОКРАЩЕННЯ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ, 3D ДРУК.

ABSTRACT

Text part of the master's qualification work: 76 pages, 59 pictures, 19 sources.

The purpose of the work - Scaling and automating production, improving the quality and speed of 3D printing with affordable and economical 3D printers.

Object of research – Increasing the speed and quality of production processes due to the implementation of a local network of 3D printers in production.

Subject of research – Methods of increasing production productivity without deterioration of product quality and production automation.

Summary of the work: The work examines the problem of low speed and quality of printing 3D printers offered by the modern market. The parameters that affect the speed and quality of printing are described, the possibility of improving 3D printers and connecting them to a network for the convenience of their management is studied and verified in practice.

A comparison of production productivity after the introduction of a local network and new printer software was made.

KEYWORDS: WIRELESS LOCAL NETWORK; NETWORK OF WIRELESS CONTROL OF ENTERPRISE EQUIPMENT, IMPROVEMENT OF PRODUCTION PROCESSES, 3D PRINTING.

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
Навчально-науковий інститут телекомунікацій

ПОДАННЯ
ГОЛОВІ ЕКЗАМЕНАЦІЙНОЇ КОМІСІЇ
ЩОДО ЗАХИСТУ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
на здобуття освітнього ступеня магістра

Направляється здобувач Кирсенко А.С. до захисту кваліфікаційної роботи
(прізвище та ініціали)

за спеціальністю 172 Телекомунікації та радіотехніка
освітньо-професійної програми Апаратура радіозв'язку, радіомовлення і телебачення

на тему: Розробка локальної мережі підприємства з 3d друку для покращення якості та швидкості виробничих процесів

Кваліфікаційна робота і рецензія додаються.

Директор ННІТ _____ Владислав КРАВЧЕНКО
(підпис) *(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)*

Висновок керівника кваліфікаційної роботи

Здобувач Кирсенко Андрій Сергійович показав гарну теоретичну та інженерну підготовку, уміння володіти технологіями нового покоління, вміло працювати з програмно-апаратними засобами мобільного зв'язку, довідковою і науково-технічною літературою. Працюючи над завданнями, які доручались керівником, проявив ініціативність, сумлінність та хист до інженерної роботи.

Все це дозволяє оцінити виконану кваліфікаційну роботу Кирсенка Андрія Сергійовича на оцінку «відмінно» та присвоїти йому кваліфікацію «Магістр з телекомунікацій та радіотехніки».

Керівник кваліфікаційної роботи _____ Наталія РУДЕНКО
(підпис) *(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)*

" " _____ 2023 року

Висновок кафедри про кваліфікаційну роботу

Кваліфікаційна робота розглянута. Здобувач Кирсенко А.С.
(прізвище та ініціали)

допускається до захисту даної роботи в Екзаменаційній комісії.

Завідувачка кафедри
Мобільних та відеоінформаційних технологій _____ Наталія РУДЕНКО
(підпис) *(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)*

" " _____ 2023 року

ВІДГУК РЕЦЕНЗЕНТА
на кваліфікаційну магістерську роботу

здобувача вищої освіти Кирсенка Андрія Сергійовича

на тему: «Розробка локальної мережі підприємства з 3D друку для покращення якості та швидкості виробничих процесів»

Актуальність:

Магістерська робота представляє собою важливий внесок у розвиток технологій 3D друку. Кирсенко Андрій ретельно дослідив сучасні можливості технології та вдало імплементував новаторський підхід до вдосконалення та підвищення якості роботи виробництва.

Основною особливістю роботи є створення сучасної локальної мережі 3D принтерів, що забезпечує ефективну координацію та контроль над виробничими процесами. Ця система дозволяє підвищити автоматизацію та розподіл завдань між пристроями, сприяючи оптимізації часу та ресурсів.

Позитивні сторони:

1. Магістерська робота відповідає поставленому завданню. Її автор виявив високий рівень знань та готовність до майбутньої професійної діяльності.
2. Текст викладений грамотно, ясно, послідовно. Графічний матеріал оформлений якісно. Магістерська робота містить детальну інструкцію з налаштування 3D принтерів та локальної мережі.

Недоліки:

1. В роботі відсутні пояснення деяких вузькопрофільних термінів.
2. В локальну мережу було додано всього два пристрої, що є малою кількістю як для виробництва.

Відзначені зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку кваліфікаційної роботи.

Висновок: кваліфікаційна робота заслуговує оцінку «відмінно», а здобувач КИРСЕНКО Андрій Сергійович заслуговує присвоєння кваліфікації: «Магістр з телекомунікацій та радіотехніки».

Рецензент: к.т.н., доцент каф. КТ (науковий ступінь, вчене звання) _____ (підпис) В. М. Чоревик (Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

ЗМІСТ

ВСТУП 9
1 АНАЛІЗ ПОТОЧНОГО СТАНУ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ ПІДПРИЄМСТВА 10
1.1 Аналіз наявного обладнання та його характеристик 10
1.2 Аналіз поточної швидкості та якості виробничого процесу 12
2 РОЗРОБКА ЛОКАЛЬНОЇ МЕРЕЖІ ДЛЯ ІНТЕГРАЦІЇ В ТЕХНОЛОГІЮ 3D ДРУКУ 19
2.1 Пошук доступних варіантів програмного забезпечення для розробки локальної мережі 3D принтерів та їх порівняння 19
2.1.1 Переваги та недоліки ПЗ Repeiter Server 21
2.1.2 Переваги та недоліки ПЗ Octoprint (OctoFarm) 22
2.1.3 Переваги та недоліки ПЗ Klipper 23
2.1.4 Визначення оптимального варіанту програмного забезпечення 27
2.2 Вибір обладнання необхідного для модернізації 3D принтерів та їх налаштування 29
2.2.1 Аналіз доступних варіантів обладнання та вибір оптимального варіанту 29
2.2.2 Встановлення Klipper 34
2.2.3 Налаштування, калібрування конфігурації 3D принтерів та об'єднання їх в мережу 56
3 ОЦІНКА ВПЛИВУ ЛОКАЛЬНОЇ МЕРЕЖІ НА ВИРОБНИЦТВО 76
3.1 Аналіз змін у якості та швидкості виробництва після впровадження локальної мережі 76
3.2 Оцінка результатів та виявлення позитивних аспектів впровадження локальної мережі в виробництво за технологією 3D друку 79
ВИСНОВКИ 81
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ 82
ДЕМОНСТРАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ 84

ВСТУП

За останні десятиліття світове виробництво зазнало значних трансформацій, а швидкість технологічного розвитку визначила нові напрямки для промислового та технологічного прогресу. Однією з інновацій, що радикально перетворила підходи до виробництва та дизайну, є технологія 3D друку. Цей метод виготовлення об'єктів, що базується на нанесенні шарів матеріалу для створення тривимірних моделей, виявив шалений ріст та зацікавленість, визначаючи нові стандарти ефективності та творчості.

Сучасний світ свідчить про стрімкий розвиток технологій 3D друку, який вплинув на широкий спектр галузей виробництва та дизайну. Від виготовлення прототипів та створення високоточних деталей до медичних досліджень, аерокосмічних технологій та у військовій справі, 3D друк знайшов своє застосування в найрізноманітніших галузях.

Роль технології 3D друку у сучасному світі не може бути переоцінена. Вона надає можливість втілювати найсміливіші ідеї та концепції в реальність, дозволяючи виробництву стати більш гнучким та індивідуалізованим. Перехід від масового виробництва до персоналізації продукції визначає нові стандарти якості та сприяє розквіту творчого потенціалу.

1. АНАЛІЗ ПОТОЧНОГО СТАНУ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ ПІДПРИЄМСТВА

1.1 Аналіз наявного обладнання та його характеристик

В наявності мається 3D принтер Ender 3 Pro від компанії Creality з кінематикою Cartesian (кожна вісь рухається за допомогою свого двигуна незалежно від інших). Ender 3 Pro є популярним 3D-принтером і цінується за його низьку ціну, простоту збірки та обслуговування та широку спільноту, завдяки якій існує безліч модифікацій для цього принтера та материнські плати розроблені спеціально під його форм-фактор (Рис. 1.1). [1]

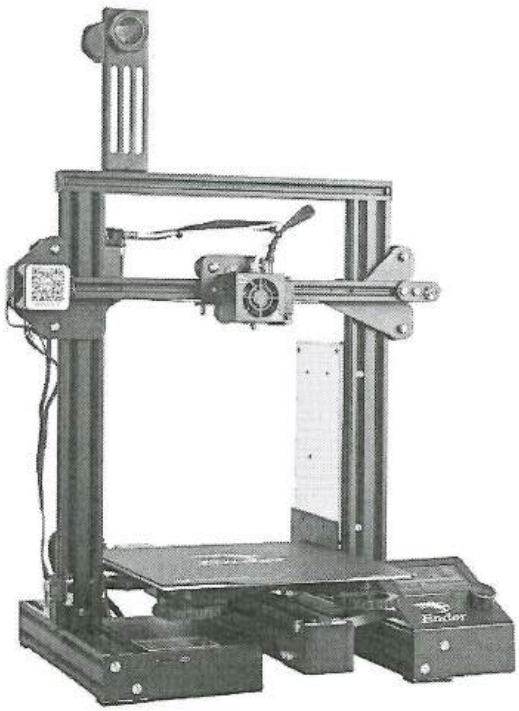


Рис. 1.1. 3D принтер Creality Ender 3 Pro.

Основні характеристики принтера:

-Рама з алюмінієвого верстатного профілю

-Максимальний об'єм друку 230*230*250мм

-Боуден (Bowden) екструдер. Двигун подаючий пластик відокремлений від друкуючої голови та з'єднаний тефлоновою трубкою.

-Стіл з функцією підігріву

-Система управління: Open Source Marlin Firmware.

Переваги Ender 3 Pro:

Доступна ціна: Ender 3 Pro є одним із найбільш доступних 3D-принтерів у своєму класі.

Якість друку: Принтер відомий своєю високою якістю друку, особливо враховуючи його ціновий діапазон.

Компактна та міцна конструкція: Алюмінієва рама забезпечує міцність та стабільність, а компактні розміри робочого об'єму роблять його практичним для використання в домашніх умовах та в умовах виробництва.

Спрощена збірка: В порівнянні з багатьма іншими 3D-принтерами збірка Ender 3 Pro досить проста, що робить його зручним для новачків.

Сумісність із зовнішніми модифікаціями: Є велика спільнота користувачів, і для Ender 3 Pro розроблено багато модифікацій та оновлень, що дозволяє користувачам покращити його функціональність.

Велика спільнота та ресурси: Є багато онлайн-ресурсів, відео-інструкцій та форумів, де користувачі діляться досвідом та порадами.

Недоліки Ender 3 Pro:

Може вимагати деяких модифікацій для оптимальної роботи: Хоча Ender 3 Pro з самого початку є добрим принтером, більшість користувачів обирають вносити модифікації для покращення його продуктивності.

Боуден екструдер. Так як відстань від подаючого пластик двигуна до сопла складає 30-40см під час друку необхідно використовувати довгий відкат пластику назад для запобігання утворення напливів в місцях стику шарів та при переміщеннях, через це збільшується час друку та стає неможливим друк гнучкими матеріалами, такими як TPU через їх розтягування та зминання. Але в більш нових варіаціях цього принтеру з заводу встановлений екструдер з прямою подачею.

Низька швидкість. Для досягнення вищої якості друку необхідно обмежувати швидкість та прискорення.

Відсутність віддаленого керування. Для ввімкнення живлення та запуску друку необхідно знаходитись безпосередньо біля принтеру, що ускладнює керування при наявності великої кількості принтерів.

Відсутність функції компенсації потоку пластику та компенсації вібрацій. [2]

1.2 Аналіз поточної швидкості та якості виробничого процесу

Перед тим як почати визначення максимальної швидкості та прискорення необхідно зазначити, що перевірка буде проводитись на принтері з вже встановленими модифікаціями, такими як: екструдер з прямою подачею Triangle Lab Titan Aero (Рис. 1.2).

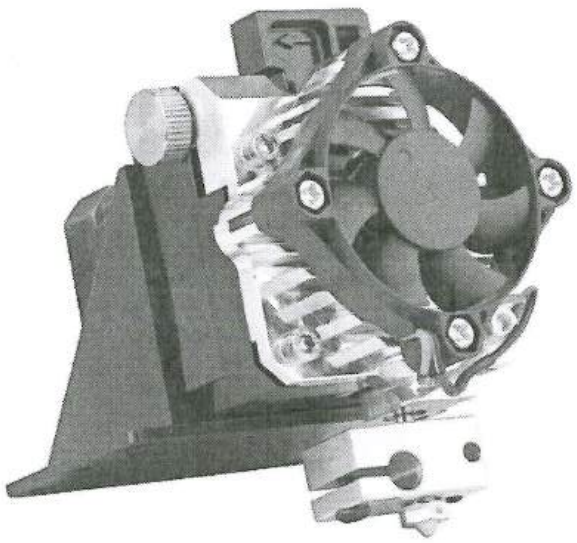


Рис. 1.2. Екструдер Triangle Lab Titan Aero.

Цей екструдер має дуже коротку відстань від двигуна до сопла, що забезпечує можливість друку гнучкими матеріалами та дає можливість зменшити довжину втягування пластику, що в свою чергу трохи зменшує час друку. [5]

Оновлена материнська плата Bigtreetech SKR Mini E3 V3 (Рис. 1.3).

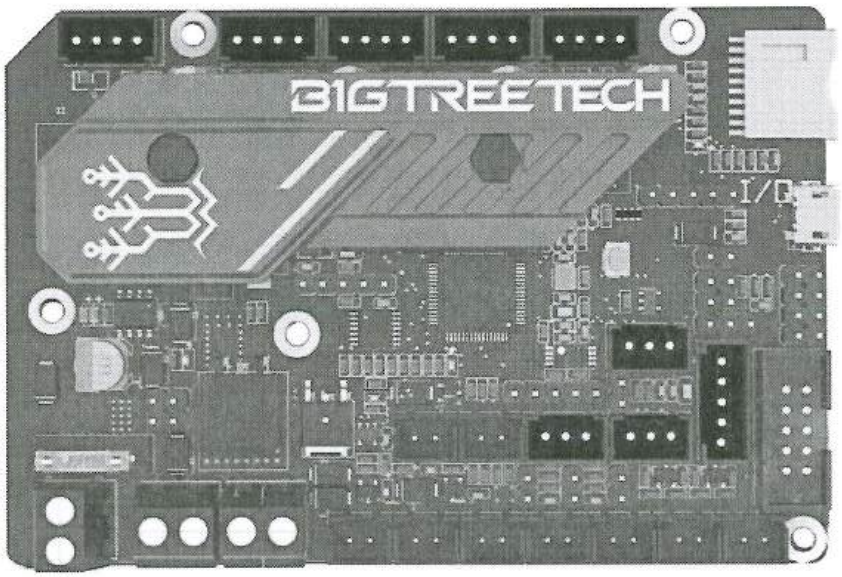


Рис. 1.3. Материнська плата Bigtreetech SKR Mini E3 V3.

Ця материнська плата має 32 бітний контроллер, оновлені драйвери двигунів що зменшують шум, та дає змогу керувати вентилятором охолодження плати.

Модифікована вісь Z. Стандартний різьбовий гвинт, що рухає вісь Z замінений на ремінну передачу, що запобігає заклинюванню осі під час руху.

Для перевірки прискорень та визначення впливу їх збільшення на якість друку була надрукована спеціальна модель яка має виступи та заокруглення на яких будуть з'являтися артефакти друку такі як «дзвін» на стінках деталей після проходження друкуючою головою гострих кутів. Для підготовки перевірочної моделі знадобиться програма-слайсер. [3]

Програма-слайсер представляє собою спеціалізоване програмне забезпечення, важливе для процесу підготовки та налаштування тривимірних моделей для друку на 3D-принтері. Робочий процес з використанням слайсера розпочинається з імпорту 3D-моделі у форматах, таких як STL чи OBJ, в інтерфейс програми.

Однією з ключових функцій слайсера є розділення об'єкта на тонкі шари, що створює послідовні шари, які будуть друковані почергово. Користувач може визначати товщину цих шарів, впливаючи на якість та час друку. Далі, слайсер генерує г-код - послідовність команд, які керують рухами друкуючої головки, температурним режимом, та іншими параметрами для кожного шару.

Слайсер також надає користувачеві можливість налаштовувати різноманітні параметри друку, включаючи швидкість друку, температуру екструдера, наявність та форму підтримки, а також запуск попереднього перегляду моделі перед фактичним друком. Деякі програми-слайсери також дозволяють додавати функції автоматичної генерації підтримки для складних деталей, що полегшує друк конструкцій з виступаючими частинами. [6]

Загалом, програма-слайсер є необхідним інструментом для оптимізації та налагодження процесу 3D-друку, дозволяючи користувачам досягати оптимальної якості та ефективності виготовлення деталей.

Слайсер Cura дозволяє робити калібровочні моделі та необхідні налаштування для них в автоматичному режимі. Вигляд перевірочної 3D моделі показано на рисунку 1.4. Ця перевірка покаже як впливає збільшення прискорення на якість друку по осях X та Y.

Модель розбита на 10 горизонтальних сегментів, кожен сегмент відповідає певній величині прискорення. Для визначення впливу збільшення прискорення на якість друку були внесені налаштування зміни прискорення при переході на новий сегмент з кроком в 500мм/с^2, починаючи з 500мм/с^2 і закінчуючи 5500мм/с^2. Для прискорення друку і зменшення розходу пластику в налаштуваннях друку було встановлено товщину стінки 0.8мм, заповнення 0% та кількість верхніх шарів 0, швидкість друку 70мм/с.

Результат друку показано на рисунках 1.5 та 1.6.

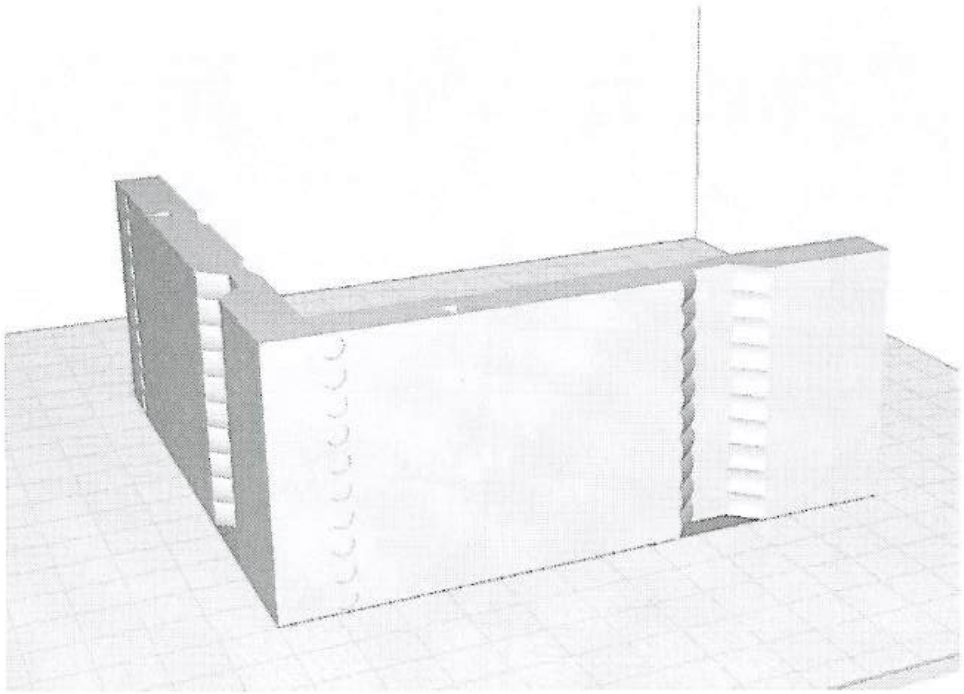


Рис. 1.4. Перевірочна 3D модель.

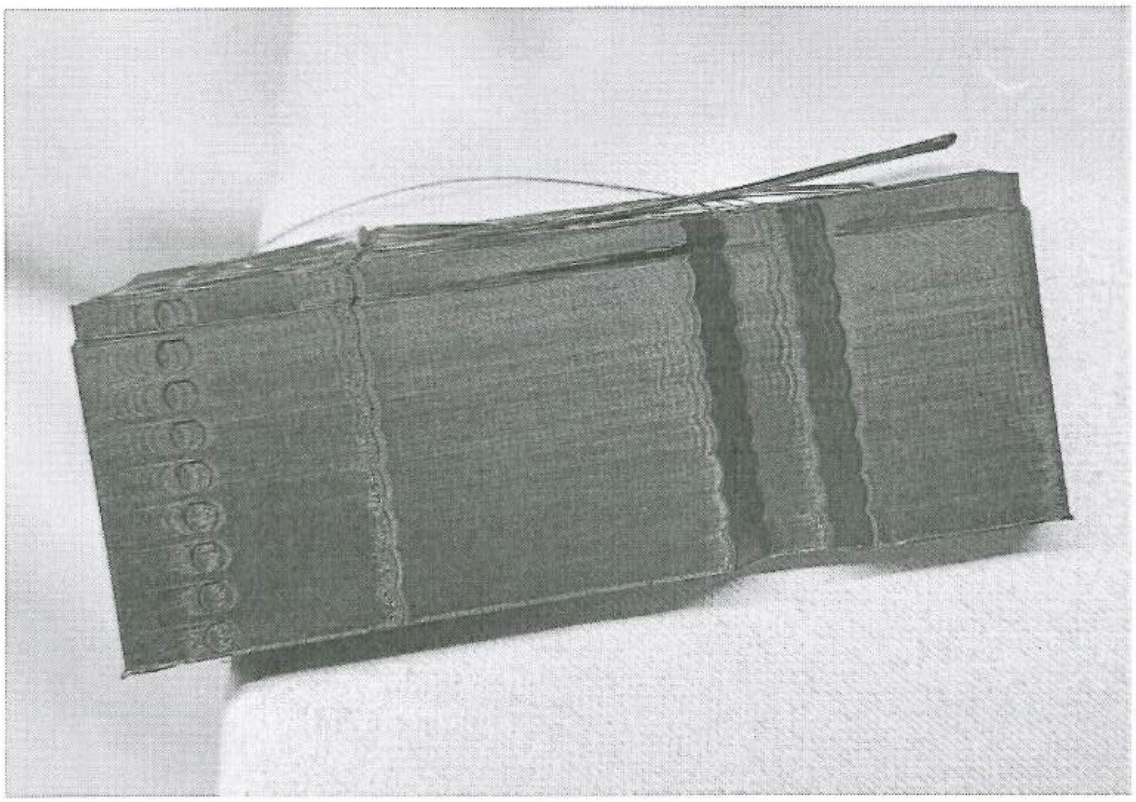


Рис. 1.5. Сторона X надрукованої моделі.

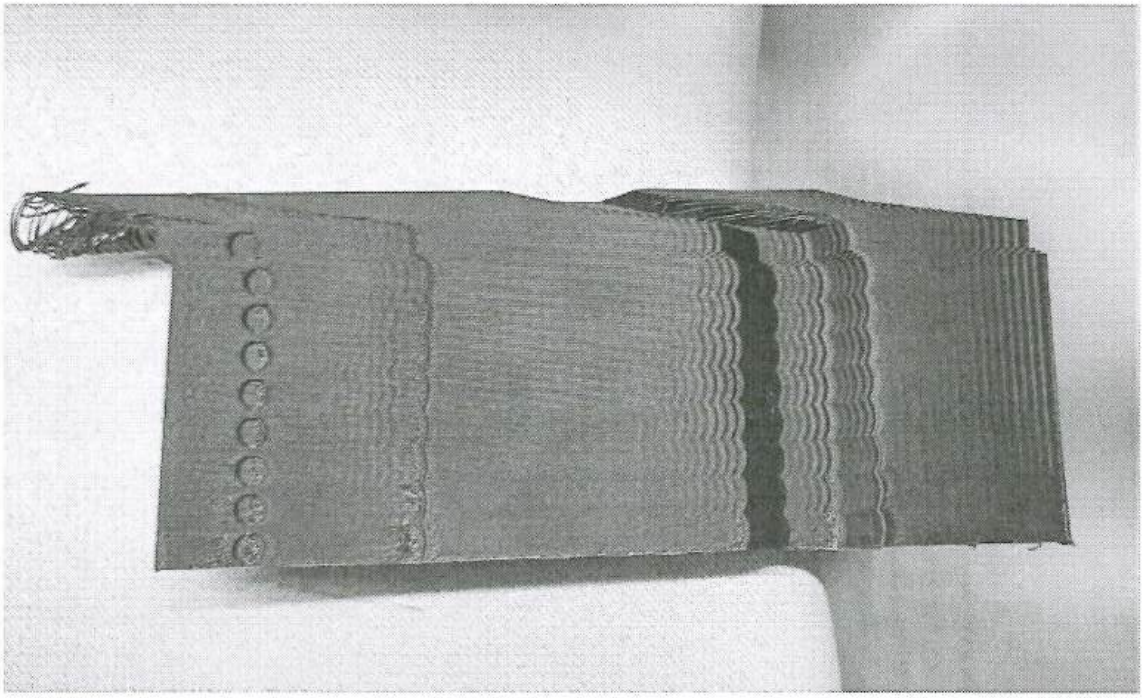


Рис. 1.6. Сторона Y надрукованої моделі.

За результатами друку одразу видно що після переходу до друку верхніх двох сегментів 9 та 10, по осі Y стався зсув шарів через пропуск кроків двигуна. Це може свідчити про занадто велике значення прискорення або про занадто малий струм двигуна, варто зазначити що збільшення струму двигуна може призвести до його перегріву та поломки.

На рисунку 1.5 зображена сторона деталі по осі X, вздовж якої рухається друкуюча голова, помітно що на перших трьох сегментах що відповідають прискоренням 500мм/с^2, 1000мм/с^2 та 1500мм/с^2 (від низу до верху) повторюваність на стінці малюнку геометрії у вигляді дужок відсутня або є дуже не значною і для осі X граничне допустиме значення прискорення без погіршення якості друку становить 500-1500мм/с^2.

На рисунку 1.6 зображена сторона деталі по осі Y, помітно що одразу при збільшенні прискорення після 500мм/с^2 на стінках з'являється чіткий візерунок у вигляді повторювання геометрії моделі. Це відбувається через те, що по осі Y рухається стіл принтера який має значно більшу вагу порівняно з друкуючою головою і через це збільшуються його вібрації. Тому гранично допустиме значення прискорення осі Y без погіршення якості становить 500мм/с^2.

Оцінка швидкості друку. Так як оцінка максимально допустимих прискорень проводилася зі швидкістю друку 70мм/с і по осі Y після збільшення прискорення до 1000мм/с^2 якість починає погіршуватися можна взяти швидкість 70мм/с як максимально допустиму, збільшення швидкості призведе до появи артефактів на менших значеннях прискорень.

Для оцінки швидкості друку корисних деталей було використано 3D модель кораблика розробленого спеціально для тестування параметрів принтерів. Для перевірки було встановлено такі налаштування друку: товщина стінок моделі 0.8мм, заповнення 20%, швидкість 70мм/с, прискорення 500мм/с^2.

Програма-слайсер досить точно може розрахувати час необхідний на друк, тому допустимо орієнтуватися на її показання без фактичного друку.

За розрахунками програми час друку кораблика з розмірами 60*31*48мм складає 1 годину 27 хвилин (Рис. 1.7).

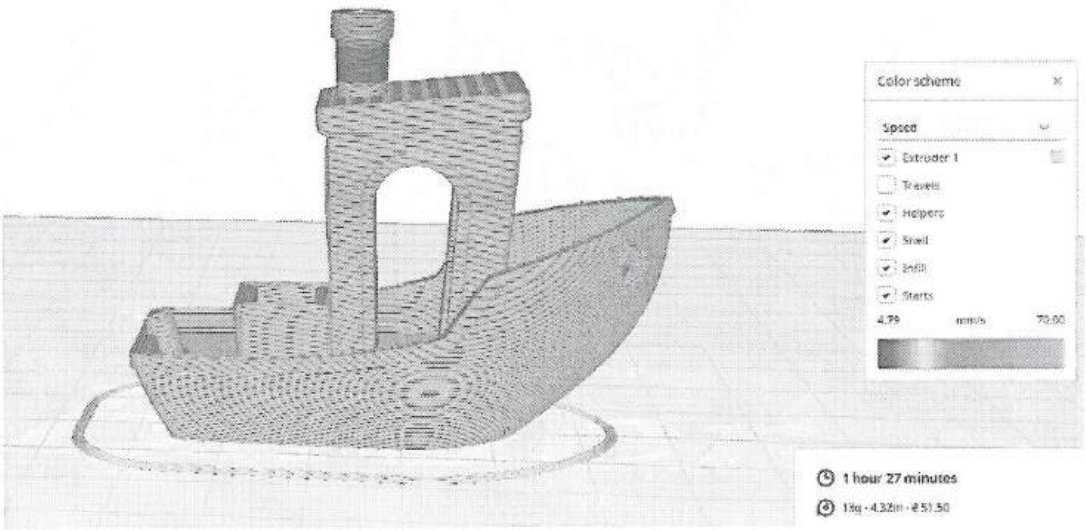


Рис. 1.7. Розрахунок часу друку через програму-слайсер.

Для теоретичної оцінки прискорення друку після інтеграції локальної мережі було встановлено значення швидкості 150мм/с та прискорень 4000мм/с^2, після

розрахунку програма показала скорочення часу друку до 1 години, що є в 1.5 рази швидшим за попередній розрахунок (Рис. 1.8).

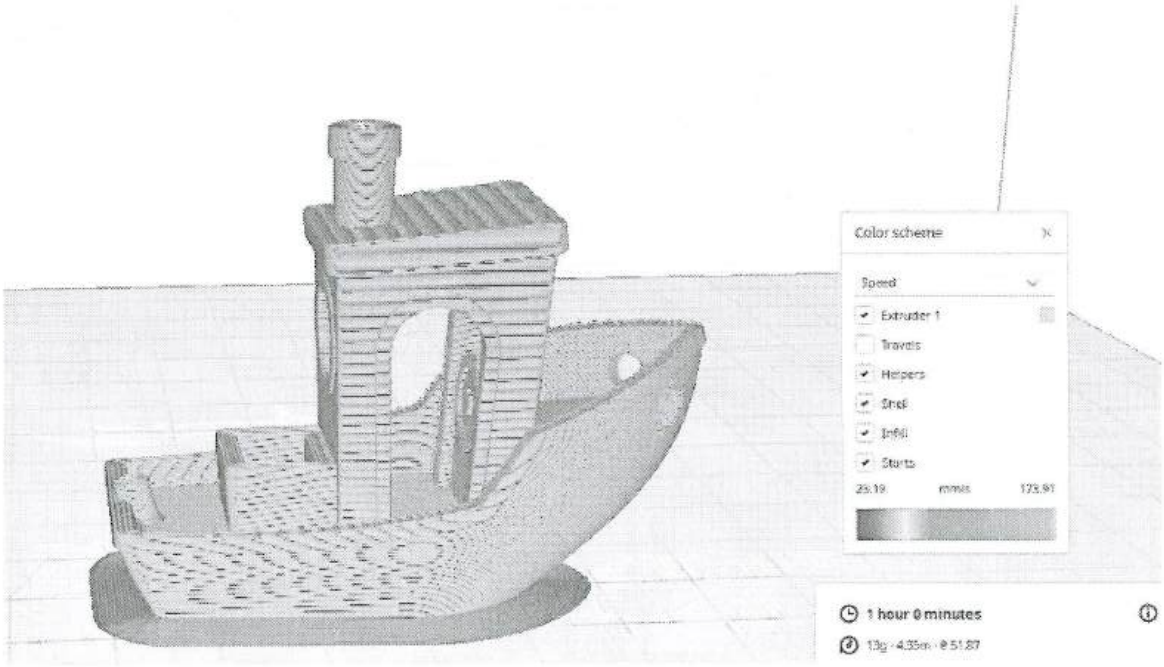


Рис. 1.8. Теоретичний розрахунок зменшення часу друку.

В ході оцінки стандартних значень прискорень та швидкості виявилося, що значення встановлені виробником є досить малими але оптимальними для підтримки хорошої якості друку. Під час теоретичного розрахунку часу друку було встановлено, що його можливо скоротити мінімум в 2 рази без втрати якості після зміни прошивки принтеру з додатковими функціями для покращення якості та інтегрувавши локальну мережу в виробництво. Тому подальша розробка локальної мережі є доцільною та призведе до покращення якості друку зі збільшеною швидкістю.

2. РОЗРОБКА ЛОКАЛЬНОЇ МЕРЕЖІ ДЛЯ ІНТЕГРАЦІЇ В ТЕХНОЛОГІЮ 3D ДРУКУ

2.1 Пошук доступних варіантів програмного забезпечення для розробки локальної мережі 3D принтерів

На 2023 рік існує кілька програмних рішень для розробки локальної мережі 3D-принтерів з можливістю об'єднання декількох принтерів для ефективного керування. Тут розглянуті три основні варіанти:

Repetier Server - Repetier Server – це програмне забезпечення, створене для керування та моніторингу 3D-принтерами та іншими пристроями, які підключені до мережі. Його основні функції включають в себе можливість віддаленого керування принтером через веб-інтерфейс, надсилання та слідкування за друкованими завданнями, а також моніторинг параметрів друку в реальному часі.

Repetier Server надає зручний інтерфейс для користувачів, дозволяючи їм віддалено завантажувати та керувати моделями, визначати налаштування друку та відстежувати прогрес друку через веб-браузер. Це спрощує використання 3D-друку, забезпечуючи можливість управління принтером безпосередньо з комп'ютера чи іншого пристрою.

Використання Repetier Server дозволяє автоматизувати та оптимізувати процес друку, що є критичним у виробничому середовищі. Інтеграція цього програмного забезпечення допомагає покращити ефективність та керованість парку 3D-принтерів, а також надає можливість взаємодії з пристроями навіть здалеку. [7]

OctoPrint - це відкрите програмне забезпечення, спеціально призначене для керування та моніторингу 3D-принтерами через веб-інтерфейс. Воно надає користувачам можливість віддаленого керування процесом друку, завантаження моделей, встановлення параметрів друку та спостереження за прогресом через зручний веб-браузер. OctoPrint також підтримує розширення за допомогою

плагінів, що розширює його функціональність та пристосовує під потреби користувача. [8]

OctoFarm – це інша програма, яка використовується для керування парком 3D-принтерів, зокрема для масштабованих виробничих середовищ. Вона забезпечує централізоване керування та моніторинг групи принтерів, дозволяючи користувачеві відстежувати прогрес друку на різних пристроях з одного інтерфейсу. OctoFarm може оптимізувати виробничі процеси, забезпечуючи ефективніше використання ресурсів та сприяючи масштабованому виробництву на основі 3D-друку. Загальною перевагою обох рішень є забезпечення користувачам гнучкості та зручності в управлінні їхніми 3D-принтерами чи пристроями в мережі, що є ключовим для оптимізації процесів та досягнення високої продуктивності в області друку.

Klipper - це програмне забезпечення з відкритим вихідним кодом, розроблене для керування 3D-принтерами. Відмінністю Klipper є його архітектура, яка використовує подвійну мікроконтролерну конфігурацію. Основний мікроконтролер забезпечує обробку високорівневих задач, таких як обробка коду G-коду та кінематика, тоді як вторинний мікроконтролер використовується для низькорівневих завдань, таких як обробка крокових сигналів та комутація крокових двигунів. [3]

Ця подвійна конфігурація дозволяє Klipper використовувати відмінності в швидкості мікроконтролера для підвищення загальної продуктивності друку. Високий рівень налаштувань та гнучкість роботи роблять Klipper популярним в спільноті 3D-друку.

Klipper підтримує багато різних конфігурацій 3D-принтерів та пристроїв, що дозволяє користувачеві налаштовувати його для власних потреб та експериментів. Це програмне забезпечення може бути використане для реалізації різних функцій, таких як автоматизоване регулювання об'єму друку, підтримка додаткових функцій друку, та забезпечення високої точності та якості друку.

2.1.1 Переваги та недоліки ПЗ Repeiter Server

Repetier Server - це програмне забезпечення для керування 3D-принтерами через мережу. Воно розроблене тією ж командою, що й Repetier Host, програма для прямого керування принтером з комп'ютера. Repetier Server розширює можливості, дозволяючи керувати кількома принтерами з одного місця через веб-інтерфейс. [7]

Переваги:

Підтримка кількох принтерів: Repetier Server дозволяє підключати та керувати декількома 3D-принтерами одночасно, що є важливим для користувачів з багатьма принтерами або об'єднаними друкарнями.

Віддалений доступ: Завдяки веб-інтерфейсу, існує можливість керувати принтерами віддалено з будь-якого пристрою, підключеного до мережі. Це зручно для віддаленого спостереження та управління друкарнями.

Слідкування та спостереження: Repetier Server надає засоби для відслідковування процесу друку та спостереження за станом принтера в режимі реального часу.

Спільний доступ до моделей та проектів: Можливість завантажувати свої 3D-моделі та проекти в Repetier Server та ділитися доступом до них з іншими користувачами.

Можливості налаштувань: Repetier Server дозволяє налаштовувати параметри друку, такі як температура, швидкість і багато іншого.

Недоліки:

Вартість ліцензії: Repetier Server має платні ліцензійні опції для повних функцій. Це може бути фактором, який впливає на вибір для деяких користувачів.

Інтерфейс користувача: Деякі користувачі відзначають, що інтерфейс Repetier Server може виглядати менш сучасно, порівняно з іншими програмами у цьому сегменті.

Обмеження безпеки: При використанні віддаленого доступу важливо дотримуватися найвищих стандартів безпеки для уникнення можливих загроз та несанкціонованого доступу.

Для встановлення Repetier Server на вашому сервері або комп'ютері, вам знадобляться певні вимоги. Нижче подано загальні вимоги, але слід також перевірити актуальну документацію на офіційному веб-сайті Repetier Server для точної інформації:

1. Операційна система

Repetier Server може бути встановлено на операційні системи, такі як Windows, Linux або macOS.

2. Веб-сервер

Необхідність мати веб-сервер, який підтримує PHP. Найпоширенішими веб-серверами для цього є Apache або Nginx.

3. База даних

Repetier Server використовує базу даних для зберігання інформації про принтери та друкарню. Можливо використовувати MySQL або MariaDB.

4. PHP

Встановлення PHP на сервер або комп'ютер є обов'язковим.

5. Бібліотеки та Залежності

Repetier Server може вимагати певних бібліотек та залежностей, які також слід встановити перед встановленням.

6. Відкриті Порти

Слід переконатися, що порти, які використовуються Repetier Server (зазвичай порт 3344), доступні та не заблоковані брандмауером.

7. Рекомендовані Ресурси

Рекомендується мати достатньо ресурсів (процесор, оперативна пам'ять) на сервері або комп'ютері для забезпечення ефективної роботи Repetier Server, особливо якщо необхідно керувати кількома принтерами одночасно.

8. Доступ до Інтернету

Якщо необхідно використовувати функції віддаленого доступу, потрібно переконатися, що сервер або комп'ютер має доступ до Інтернету.

2.1.2 Переваги та недоліки ПЗ Octoprint (OctoFarm)

OctoPrint є популярним веб-інтерфейсом для керування 3D-принтерами через мережу. Відомий своєю відкритістю та активною спільнотою, OctoPrint надає користувачам зручний інтерфейс для керування та спостереження за процесом друку. [8]

OctoFarm є додатковим інструментом, який розширює можливості OctoPrint, дозволяючи керувати декількома принтерами одночасно з одного інтерфейсу.

Переваги OctoPrint:

Віддалений доступ: OctoPrint надає можливість керування та спостереження за принтером з будь-якого пристрою через веб-браузер. Це особливо корисно для віддаленого моніторингу та управління процесом друку.

Плагіни та розширення: OctoPrint має широкий вибір плагінів, що дозволяє користувачам розширювати функціоналість програми за їхніми потребами. Це може бути все, від додаткових інструментів для аналізу моделей до плагінів для автоматизації операцій.

Контроль над процесом друку: OctoPrint дозволяє контролювати різні аспекти друку, такі як температура екструдера та ложа, рухи принтера і багато іншого.

Спостереження за відео: Можливість підключення веб-камери дозволяє вам візуально спостерігати за друкарнею в режимі реального часу.

Переваги OctoFarm:

Управління декількома принтерами: OctoFarm дозволяє об'єднувати та керувати кількома екземплярами OctoPrint з одного інтерфейсу. Це зручно для тих, у кого є кілька принтерів або друкарня.

Групування та завдання Друку: OctoFarm дає можливість створювати групи принтерів та надсилати спільні завдання друку, спрощуючи управління паркуванням принтерів.

Недоліки OctoPrint та OctoFarm:

Складність налаштувань: Деякі користувачі відзначають, що налаштування OctoPrint може бути складним завданням для новачків.

Вимоги до ресурсів: OctoPrint та OctoFarm можуть вимагати певних ресурсів від комп'ютера або одного сервера, особливо при управлінні кількома принтерами одночасно.

Залежність від інтернету: Залежно від конфігурації, віддалений доступ може вимагати активного Інтернет-з'єднання.

Для встановлення OctoPrint, вам потрібно врахувати певні вимоги. Це програмне забезпечення призначене для роботи на одноплатних комп'ютерах, таких як Raspberry Pi, а також на звичайних серверах або комп'ютерах. Нижче подані загальні вимоги для встановлення OctoPrint:

1. Одноплатний комп'ютер або сервер

OctoPrint можна встановити на одноплатні комп'ютери, такі як Raspberry Pi (рекомендовано Raspberry Pi 3 або 4). Також можна використовувати стандартні сервери або комп'ютери.

2. Операційна Система

OctoPrint підтримує операційні системи Linux (рекомендовано Raspbian для Raspberry Pi), Windows та macOS.

3. Python

OctoPrint написаний на мові програмування Python. Потрібно мати встановлений Python на вашому пристрої.

4. Веб-браузер

Для доступу до веб-інтерфейсу OctoPrint знадобиться веб-браузер. OctoPrint підтримує багато популярних браузерів, таких як Chrome, Firefox, Safari.

5. SSH (для Raspberry Pi)

При встановленні OctoPrint на Raspberry Pi, можливо знадобиться SSH для зручного взаємодії з Raspberry Pi.

6. Відкритий Порт (для Віддаленого Доступу):

Якщо планується використовувати віддалений доступ до OctoPrint, необхідно переконатися, що ви відкрили необхідний порт на вашому роутері та брандмауері.

7. Віртуальна Машина або Фізичний Сервер

При встановленні OctoPrint на сервері або комп'ютері, переконайтеся, що цей пристрій відповідає системним вимогам OctoPrint.

2.1.3 Переваги та недоліки ПЗ Klipper

Klipper - це альтернативна прошивка для 3D-принтерів, яка відрізняється від традиційних прошивок, таких як Marlin чи Repetier. Однією з ключових особливостей Klipper є те, що вона використовує розподілену обробку: частину обчислень виконує сам мікроконтролер принтера, а частину - комп'ютер, який встановлений поруч із принтером. [3]

Переваги Klipper:

Швидкодія: Ключовою перевагою Klipper є його висока швидкодія обробки команд. Розподілена обробка дозволяє використовувати потужності комп'ютера для швидкодійних обчислень, покращуючи точність та час реакції принтера.

Можливості налаштувань: Klipper надає більше можливостей налаштувань, особливо в області динаміки руху принтера. Це може бути корисним для досвідчених користувачів, які шукають більшу гнучкість.

Сумісність з різним обладнанням: Klipper є сумісним з різними мікроконтролерами та типами принтерів, що робить його відмінним вибором для модернізації існуючого обладнання.

Активна спільнота: Є активна спільнота користувачів та розробників, які надають підтримку та створюють нові функції.

Недоліки Klipper:

Складність налаштувань: Налаштування Klipper може виявитися складнішими порівняно із стандартними прошивками для початківців. Вимагає деякого розуміння налаштувань та параметрів.

Потреба у додатковому обладнанні: Для повного використання можливостей Klipper може знадобитися додаткове обладнання, таке як Raspberry Pi або інший одноплатний комп'ютер, який буде використовуватися для розподіленої обробки.

Залежність від підтримки принтера: Так як Klipper не є стандартною прошивкою для багатьох принтерів, підтримка може бути обмеженою для певних моделей, але цей недолік нівелюється налаштуванням конфігурації на основі конфігурації для іншого схожого принтера.

Для встановлення Klipper на 3D-принтері, знадобляться певні вимоги. Клієнт-серверна архітектура Klipper передбачає використання комп'ютера або одноплатного комп'ютера (наприклад, Raspberry Pi) для обробки команд та управління рухомими системами, тоді як мікроконтролер принтера відповідає за виконання конкретних завдань.

1. Мікроконтролер

Сумісний мікроконтролер, який може використовуватися разом з Klipper. Наприклад, багато принтерів використовують мікроконтролери типу Arduino (наприклад, Arduino Mega), але існують й інші варіанти.

2. Сумісність Принтера

Потрібно перевірити чи принтер сумісний з Klipper. Є певні принтери, для яких було створено конфігураційні файли Klipper, і інші, для яких потрібно створити свій власний.

3. Одноплатний Комп'ютер (для сервера)

Як правило, використовується Raspberry Pi або інший одноплатний комп'ютер, на якому встановлюється серверна частина Klipper.

4. Linux на Одноплатному Комп'ютері

Одноплатний комп'ютер повинен мати встановлену операційну систему Linux, таку як Raspbian на Raspberry Pi. Klipper також може бути встановлений на інші операційні системи, такі як Ubuntu.

5. Python

Встановлення Python на серверному комп'ютері. Klipper використовує Python для виконання своїх функцій.

2.1.4 Визначення оптимального варіанту програмного забезпечення

Проаналізувавши всі три варіанти програмного забезпечення можна зробити висновок, що Klipper є оптимальним варіантом для провадження локальної мережі 3D, а саме через:

Швидкодію та розподілену обробку:

Однією з ключових переваг Klipper є його швидкодія обробки команд. Розподілена обробка дозволяє використовувати потужність зовнішнього комп'ютера для важливих обчислень, збільшуючи швидкість та точність рухів принтера.

Гнучкість та можливості налаштувань:

Klipper надає розширені можливості налаштувань, що дозволяє досвідченим користувачам налаштовувати різні параметри руху принтера для досягнення оптимальних результатів.

Сумісність з різним обладнанням:

Klipper є сумісним з різними мікроконтролерами та типами принтерів. Це робить його відмінним вибором для модернізації існуючого обладнання або використання різних конфігурацій.

Активна спільнота та підтримка:

Є активна спільнота користувачів та розробників, що забезпечує підтримку та обмін досвідом. Це важливо для вирішення питань та отримання порад під час використання.

Система контролю версій:

Використання системи контролю версій дозволяє швидко отримувати оновлення та вносити зміни в конфігурації без необхідності перепрошивки.

Активний Розвиток:

Проект Klipper активно розвивається, і нові функції регулярно додаються до системи. Це означає, що користувачі можуть використовувати нові можливості та вдосконалення.

2.2 Вибір обладнання необхідного для модернізації 3D принтерів та їх налаштування

2.2.1 Аналіз доступних варіантів обладнання та вибір оптимального варіанту

Клієнт-серверна архітектура Klipper передбачає використання одноплатного комп'ютера або звичайного комп'ютера для обробки команд та керування рухомими системами.

Використання звичайного комп'ютера є найгіршим варіантом через великі розміри, високу вартість та необхідність окремого живлення, тому цей варіант розглядатись не буде.

Одноплатний комп'ютер (ОПК) — це мікрокомп'ютер, який об'єднує в собі всі необхідні компоненти, необхідні для роботи комп'ютера, на одній платі. Такий комп'ютер має малий розмір і зазвичай має вбудований процесор, оперативну пам'ять, вбудоване сховище даних, порти введення-виведення, інтерфейси для підключення до інших пристроїв та інші необхідні компоненти.

Одноплатні комп'ютери широко використовуються для різноманітних проектів, таких як розробка пристроїв Інтернету речей (IoT), вбудовані системи, робототехніка, медіацентри, навчання програмуванню та багато інших сфер.

Основні характеристики одноплатного комп'ютера включають в себе:

Процесор: Вбудований центральний процесор (CPU), який відповідає за обчислення.

Оперативна Пам'ять (ОЗП): Вбудована оперативна пам'ять для тимчасового зберігання даних, які використовуються в процесі роботи.

Сховище Даних: Вбудоване сховище для зберігання операційних систем, даних та програм.

Порти Введення-Виведення (I/O): Різноманітні порти для підключення до зовнішніх пристроїв, таких як монітори, клавіатури, миші, камери, датчики та інші.

Інтерфейси: Можливості для підключення до мережі (Ethernet або Wi-Fi), звуковий вихід, USB-порти та інші інтерфейси.

Роз'єми для Розширення: Можливості розширення за допомогою додаткових модулів або карт, таких як GPIO (розширений порт введення-виведення).

Одноплатні комп'ютери дозволяють розробникам, гобістам та інженерам ефективно використовувати комп'ютерні можливості в різних проектах, при цьому зберігаючи компактні розміри та невелику вартість.

На момент 2023го року існує три найпоширеніших виробників одноплатних комп'ютерів Raspberry Pi, Orange Pi, Nano Pi.

Найпоширеніший з них - Raspberry Pi, це одноплатний комп'ютер (ОПК), розроблений фондом Raspberry Pi. Його мета полягає в забезпеченні доступного за ціною інструменту для навчання програмуванню, створення проектів Інтернету речей (IoT) та розробки вбудованих систем (Рис. 2.1)

Існує багато версій одноплатних комп'ютерів Raspberry Pi заточених під різні задачі та вимоги, від простих бюджетних серії Pico до потужних Raspberry Pi 5. Головним мінусом Raspberry Pi є висока ціна порівняно з аналогами. [9]

Orange Pi - це лінійка одноплатних комп'ютерів (SBC) з відкритим вихідним кодом, розроблених компанією Shenzhen Xunlong Software. Ці пристрої базуються на різних мікропроцесорах від виробників, таких як Allwinner, та призначені для використання в різноманітних проектах із сфери електроніки, робототехніки та інших сфер. [10]

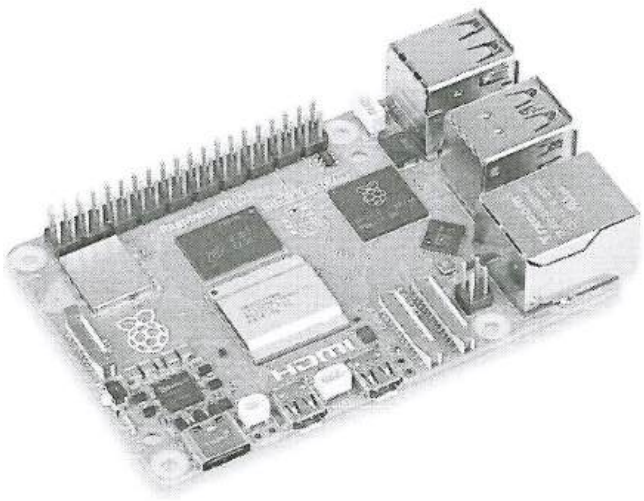


Рис. 2.1. Одноплатний комп'ютер Raspberry Pi5.

Orange Pi має різноманітні моделі, що різняться за характеристиками та можливостями. Вони можуть мати різний обсяг оперативної пам'яті, вбудований об'єм зберігання, роз'єми для підключення периферійних пристроїв, інтерфейси для з'єднання з мережею, а також вбудовані можливості для обробки графіки та відео.

Orange Pi може використовуватися як центральний елемент для створення різноманітних електронних проектів, таких як домашній сервер, медіацентр, система домашньої автоматизації чи інші сценарії, де важлива компактність та можливість взаємодії з різними електронними пристроями. (Рис. 2.2).

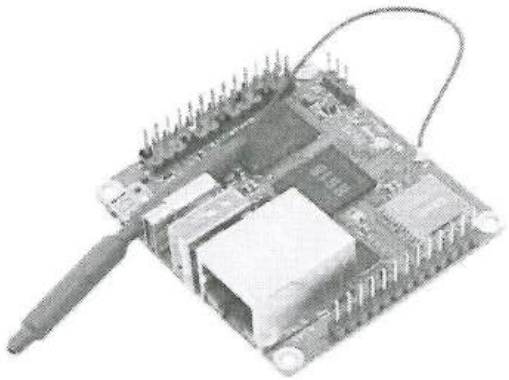


Рис. 2.2.Одноплатний комп'ютер Orange Pi Zero 3

Nano Pi - це лінійка одноплатних комп'ютерів (SBC) від компанії FriendlyElec, яка надає користувачам потужність та компактність для використання у різних електронних проектах. Ці одноплатні комп'ютери зазвичай використовують процесори від виробників, таких як Allwinner чи Rockchip, та наділені різноманітними функціональними можливостями.

Моделі Nano Pi можуть відрізнятися за характеристиками, такими як обсяг оперативної пам'яті, вбудований об'єм зберігання, наявність роз'ємів для периферійних пристроїв, підтримка мережевих інтерфейсів, а також наявність вбудованих модулів для обробки графіки та відео.

Nano Pi широко використовується для створення різноманітних проектів, включаючи домашні сервери, медіацентри, системи IoT (Internet of Things), та інші

електронні застосування, де потрібна надійна та потужна обчислювальна платформа у компактному форм-факторі.

Також існують комп'ютери спеціально розроблені для інтеграції в 3D принтери та материнські плати поєднані з комп'ютером але вони є важкодоступними в Україні та мають високу ціну (Рис. 2.3).

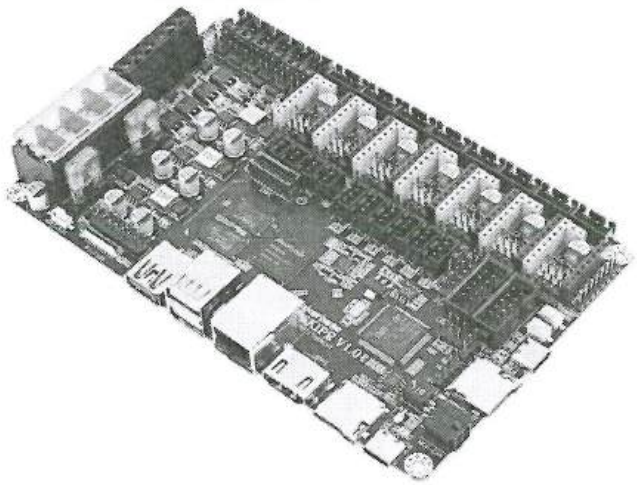


Рис. 2.3. Материнська плата 3D принтера Makerbase SKIPR з вбудованим комп'ютером.

Проаналізувавши доступні рішення кожного виробника можна зробити висновок, що комп'ютер Orange Pi Zero 3 є оптимальним рішенням для вирішення поставленої задачі. Він має всі необхідні функції та характеристики, такі як WiFi, чотирьохядерний процесор, 1Гб ОЗП та малі розміри.

Також для налаштування знадобиться конвертер USB – UART TTL (Рис. 2.4), модуль акселерометра ADXL345 (Рис. 2.5), два кабелі USB Type-C та micro USB, а також набір інструментів, таких як: набір викруток, набір шестигранних ключів, кусачки, паяльник, дроти.

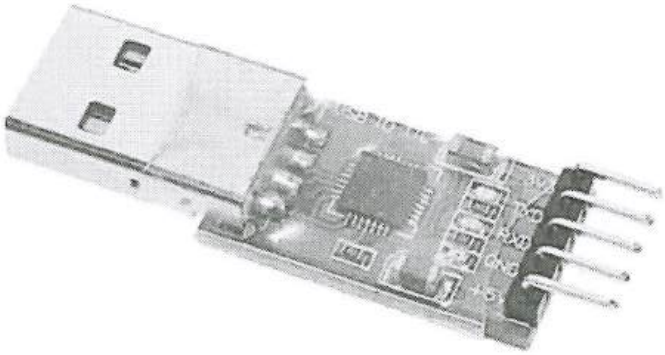


Рис. 2.4. Конвертер USB – UART TTL.

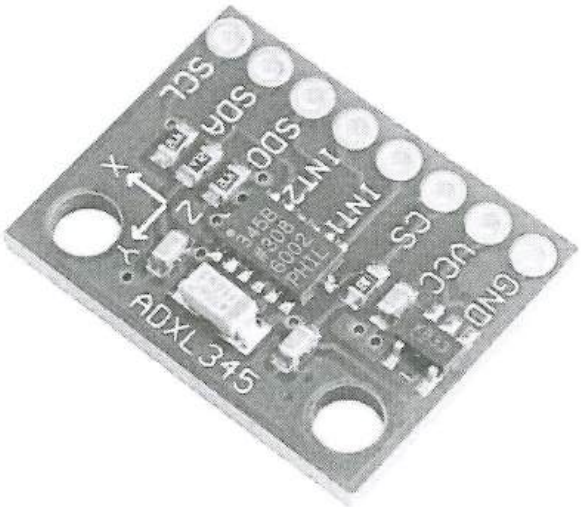


Рис. 2.5. модуль акселерометра ADXL345.

2.2.2 Налаштування обладнання

Для встановлення операційної системи Linux знадобляться такі програми: Putty, Balena Etcher

Для початку необхідно завантажити дистрибутив операційної системи, для одноплатних комп'ютерів найкраще підходить Armbian але на момент роботи для Orange Pi Zero 3 немає офіційного дистрибутиву тому був використаний Debian, який ліг у основу Armbian.

Debian - це вільна та відкрита операційна система, яка є однією з найстаріших та найпопулярніших дистрибутивів Linux. Основні характеристики Debian включають:

Вільна та Відкрита: Debian розповсюджується відповідно до умов вільної ліцензії GNU General Public License (GPL). Це означає, що ви можете вільно використовувати, модифікувати та поширювати систему.

Стабільність: Однією з ключових особливостей Debian є його фокус на стабільності. Випуски Debian проходять великий період тестувань, щоб забезпечити надійність та стабільність системи.

Пакетний Менеджер APT: Debian використовує систему управління пакетами Advanced Package Tool (APT), яка дозволяє зручно встановлювати, оновлювати та видаляти програмне забезпечення. Велика кількість пакетів доступна через репозиторії Debian.

Система Ініціалізації: Зазвичай Debian використовує систему ініціалізації systemd для управління процесами та послугами.

Багаторівнева Архітектура: Debian підтримує різні архітектури, включаючи x86, x86-64, ARM, MIPS та інші.

Розподілений Розвиток: Розробка Debian розподілена між численними волонтерами з усього світу. Вона базується на принципах вільного та відкритого програмного забезпечення.

Різні Версії: Debian має різні гілки або версії, такі як "stable" (стабільна), "testing" (тестова), та "unstable" (нестабільна), що дозволяє користувачам обрати рівень стабільності, який їм підходить.

Спільнота та Підтримка: Debian користується широкою глобальною спільнотою, існують форуми, вікі, та інші ресурси, де користувачі можуть обговорювати проблеми та отримувати підтримку. [11]

Debian часто використовується в серверному середовищі, а також для робочих станцій та вбудованих систем. Його добре визнана стабільність та велика кількість доступних пакетів роблять його популярним вибором серед користувачів Linux.

Після завантаження дистрибутиву необхідно його розархівувати, під'єднати карту пам'яті до комп'ютеру та запустити програму Balena Etcher. (Рис. 2.6)

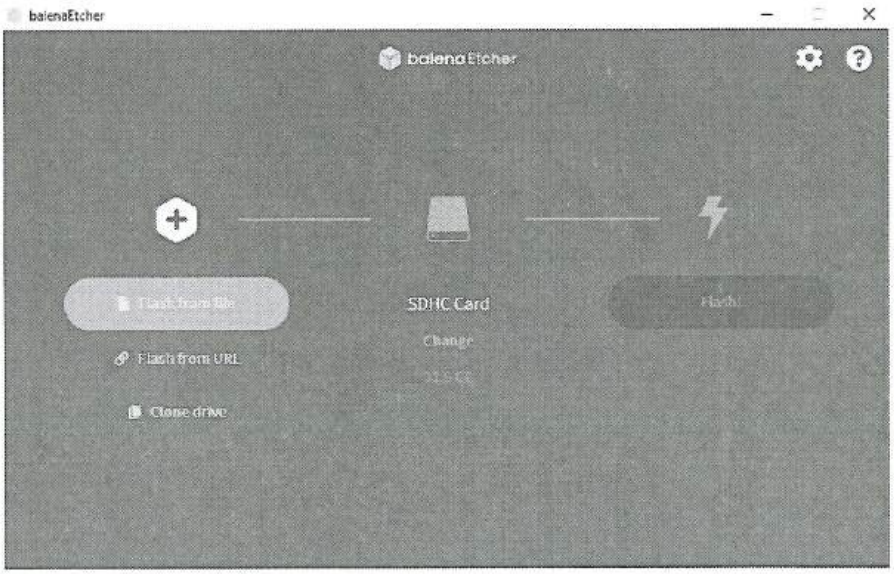


Рис. 2.6. Інтерфейс програми Balena Etcher.

Після цього необхідно натиснути Flash from file та обрати файл операційної системи, обрати місце завантаження – карту пам'яті та натиснути Flash, процес встановлення займає декілька хвилин, необхідно дочекатися його повного завершення, тільки тоді можна буде від'єднати карту пам'яті від комп'ютеру (Рис. 2.7).

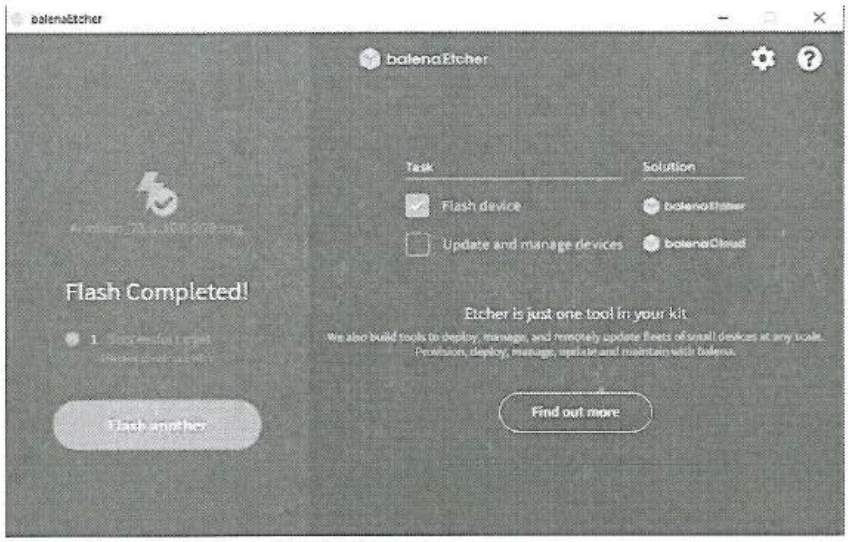


Рис. 2.7. Завершений процес завантаження образу.

Після завершення інсталяції необхідно вставити карту пам'яті в одноплатний комп'ютер. Підключити USB-UART перехідник до контактів одноплатного комп'ютера в порядку GND-GND, TX-RX, RX-TX та підключити перехідник до USB порту комп'ютера. Найменування контактів вказано на платі комп'ютера та на перехіднику, для впевненості можна скористатися схемою на рисунках 2.8 та 2.9. [10]

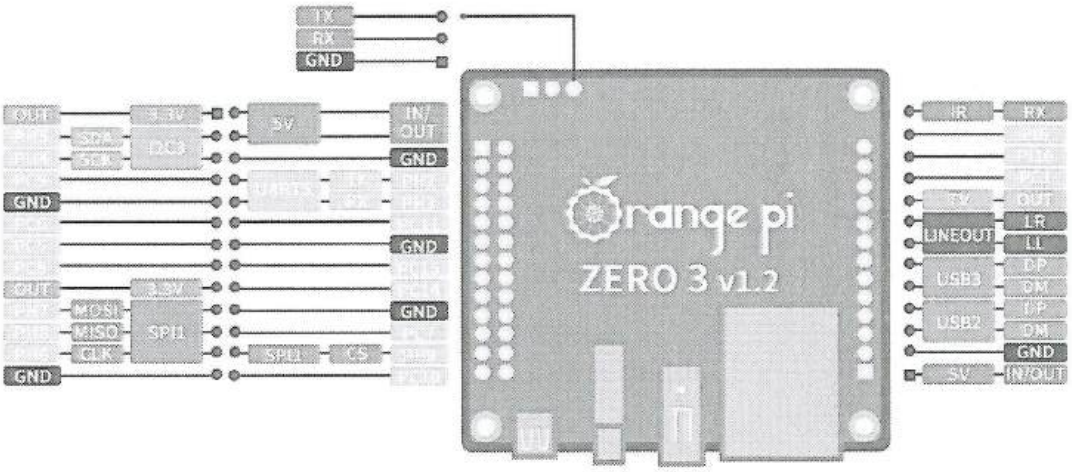


Рис. 2.8. Схема контактів Orange Pi Zero 3.

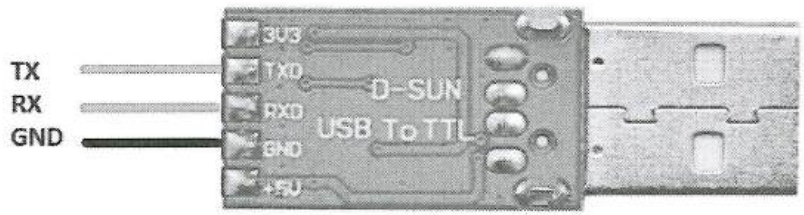


Рис. 2.9. Схема контактів USB-TTL перехідника.

Після цього необхідно перейти в диспетчер пристроїв та у вкладці «Порти COM та LTP» дізнатися до якого порту підключений перехідник (Рис. 2.10).

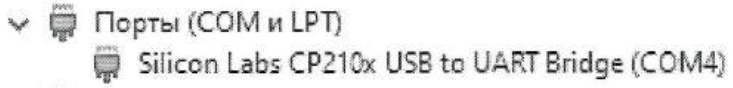


Рис. 2.10. Порт підключення перехідника.

На рисунку помітно що перехідник підключений до порту COM4, далі необхідно запустити програму Putty, вибрати тип підключення Serial, вказати порт підключення, швидкість 115200 та натиснути Open. (Рис. 2.11).

Після цього відкриється консоль з підключенням до одноплатного комп'ютера, необхідно підключити його живлення через роз'єм USB Type-C. Після підключення живлення в консолі буде видно завантаження операційної системи, перше завантаження може зайняти тривалий час. Після завантаження консоль буде виглядати як показано на рисунку 2.12.

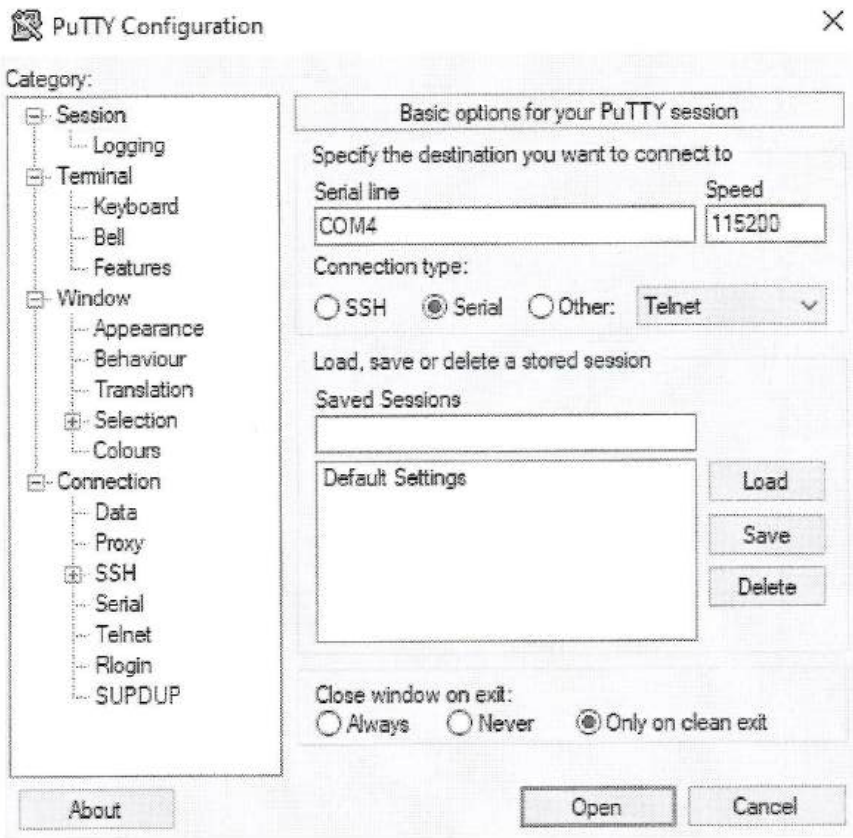


Рис. 2.11. Інтерфейс програми Putty.



Рис. 2.12. Консоль одноплатного комп'ютера.

Після цього для виконання команд необхідно ввести стандартний пароль: orangepi. Далі необхідно додати нового користувача командою sudo adduser «ім'я користувача», для простоти було обрано ім'я klipper та додати пароль. [11]

Необхідно виконати команду sudo usermod -a -G tty klipper, команда sudo usermod -a -G tty klipper додає користувача klipper до групи tty. Sudo використовується для виконання команди з правами адміністратора (root). Usermod - команда для зміни параметрів користувача. -a значить "додати". Використовується разом з -G, щоб додавати користувача до групи. -G tty Задає групу (в даному випадку, tty), до якої буде доданий користувач. klipper ім'я користувача, який буде доданий до групи tty. Це може бути корисно, наприклад, для забезпечення доступу до пристроїв, які використовують tty (текстові термінали).

Також необхідно виконати команду sudo usermod -a -G dialout klipper, використовується для додавання користувача klipper до групи dialout. Дозволяючи користувачеві входити в групу dialout, йому надається доступ до пристроїв шляхом вводу/виводу, таких як порти COM або USB-порти, які можуть використовуватися для з'єднання з пристроями зв'язку, наприклад, мікроконтролерами або модемами.

Для надання користувачу здатності виконувати команди з підвищеними привілеями необхідно виконати команду sudo adduser klipper sudo.

Для перевірки наданих прав виконується команда groups klipper. Після виконання в консолі повинні бути групи tty, dialout та sudo, їх можна побачити внизу на рисунку 2.13.

Після перевірки наданих прав користувачу необхідно перезавантажити систему командою reboot і знову увійти в систему використовуючи ім'я користувача (klipper) та пароль створений раніше.

Для підключення одноплатного комп'ютера через Wi-Fi необхідно виконати команду sudo nmtui-connect «назва мережі». У разі якщо виникне помилка з повідомленням, що не існує такого файлу чи директорії (no such file or directory) необхідно встановити ПЗ Network Manager командою sudo apt install network-manager та повторити виконання команди sudo nmtui-connect «назва мережі», якщо мережа Wi-Fi не захищена паролем підключення відбудеться одразу, якщо захищена паролем з'явиться вікно для його вводу. [11]

Після підключення до Wi-Fi мережі необхідно дізнатися IP адресу комп'ютеру для підключення через SSH протокол, без використання перехідника, це робиться командою ifconfig. В полі wlan0 буде вказана необхідна IP адреса, в нашому випадку 192.168.31.106 (Рис. 2.14).

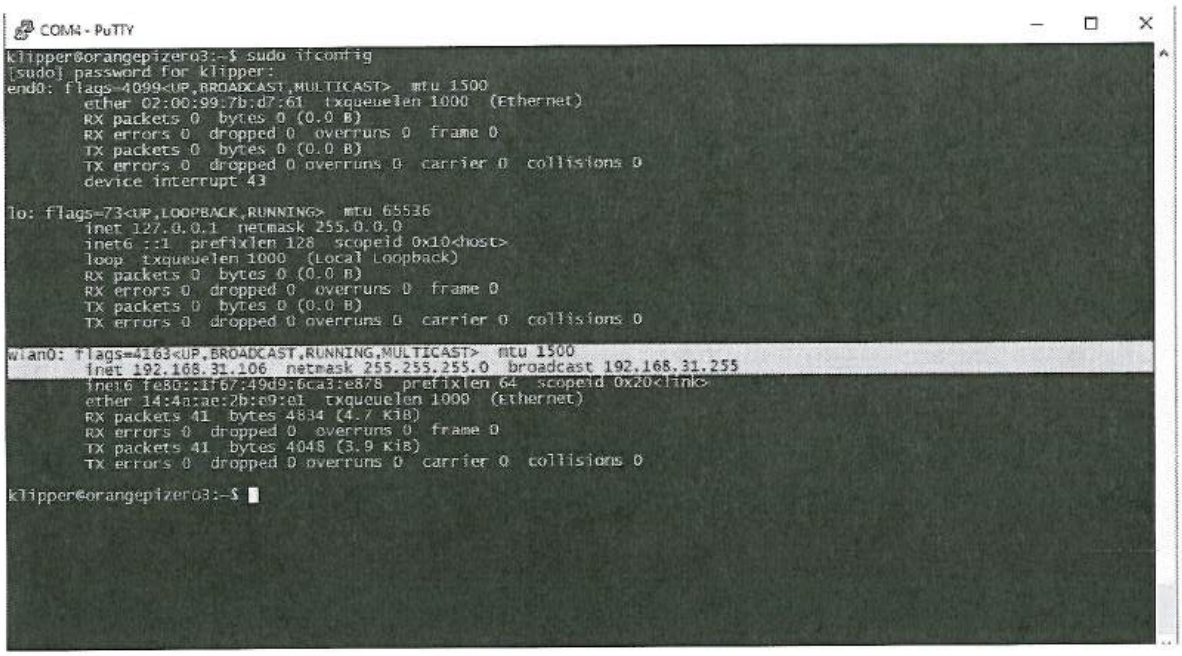


Рис. 2.14. Перевірка IP адреси.

Завдяки IP адресі з'являється можливість підключення через протокол SSH з робочого ПК. [12]

SSH (Secure Shell) є протоколом та набором програм для захищеного доступу до віддалених систем. Основна ідея SSH полягає в створенні захищеної з'єднаної сесії між двома комп'ютерами через небезпечну мережу, таку як Інтернет. За допомогою SSH користувач може віддалено управляти та взаємодіяти з віддаленим комп'ютером, використовуючи шифровану комунікацію.

Основні функції SSH включають:

Шифрування даних:

Всі дані, передані через SSH, шифруються, що унеможливлює читання чи перехоплення інформації третіми сторонами.

Автентифікація:

SSH використовує систему ключів для автентифікації користувачів. Це забезпечує безпечний спосіб входу на віддалений сервер.

Віддалене виконання команд:

Користувачі можуть віддалено виконувати команди на віддаленому сервері через захищене SSH-з'єднання.

Тунелювання портів:

SSH може створювати захищені тунелі для передачі трафіку між двома вузлами, що дозволяє безпечно передавати трафік через небезпечні мережі.

CFTP та SCP:

SSH підтримує протоколи SFTP (Secure File Transfer Protocol) та SCP (Secure Copy), що дозволяє безпечно передавати файли між вузлами.

Для віддаленого підключення через протокол SSH необхідно на робочому ПК відкрити консоль натиснувши сполучення клавіш Win+R, у вікні що відкрилося ввести cmd та натиснути Enter. В консолі ПК необхідно ввести команду ssh klipper@«IP адреса» (Рис. 2.15). Для підключення може знадобитися підтвердження.

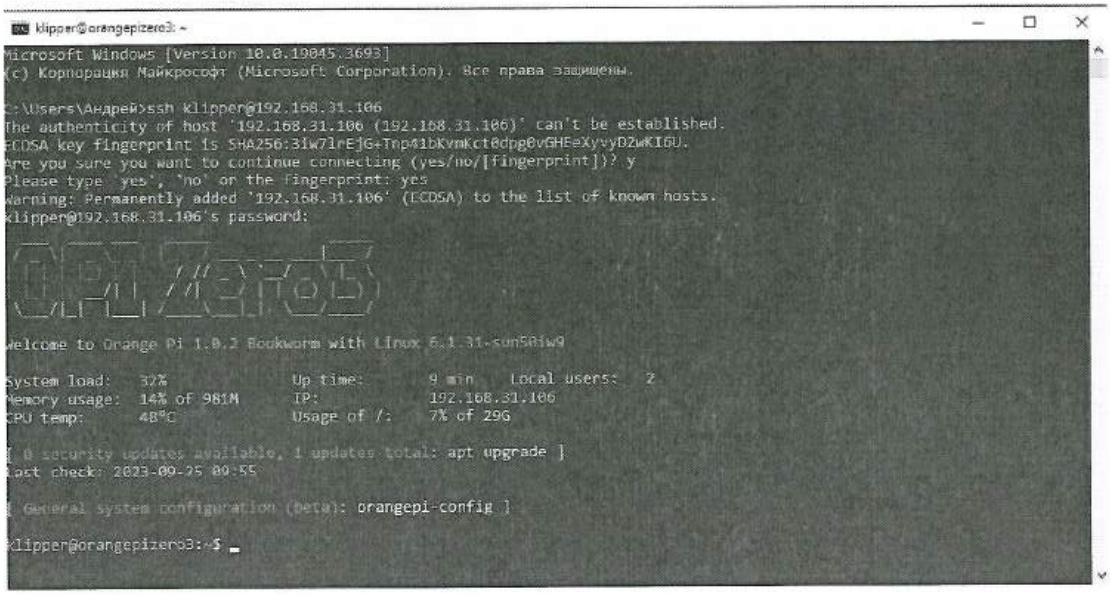


Рис. 2.15. Підключення через протокол SSH.

Для того, щоб операційна система одноплатного комп'ютера при завантаженні автоматично виконувала вхід через користувача klipper та без паролю необхідно: виконати команду sudo visudo, ввести пароль, знайти рядок, що починається з %sudo та під ним ввести команду klipper ALL=(ALL) NOPASSWD:ALL (Рис. 2.16). Для збереження необхідно натиснути сполучення клавіш Ctrl+O та Enter, для виходу Ctrl+X.

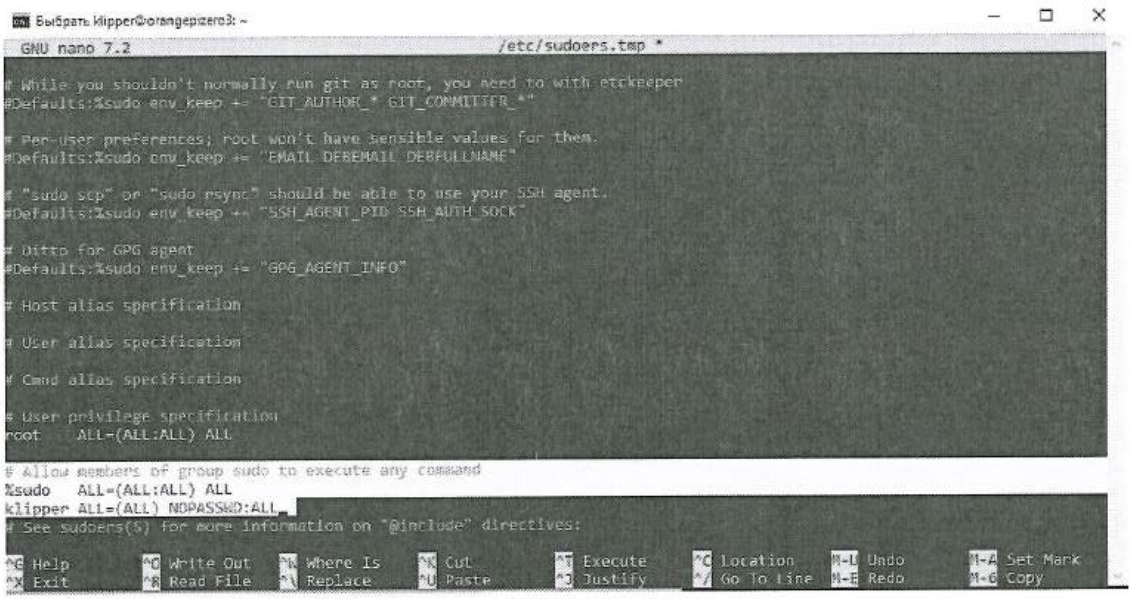


Рис. 2.16. Ввімкнення автоматичного завантаження.

Для оновлення системи необхідно ввести команду sudo apt-get update && sudo apt-get upgrade та погодитись з усим, що буде запропоновано. Після оновлення необхідно перезавантажити систему командою reboot. [12]

Далі потрібно встановити необхідні пакети розробницьких бібліотек командою sudo apt-get install zlib1g-dev libjpeg-dev (Рис. 2.17).

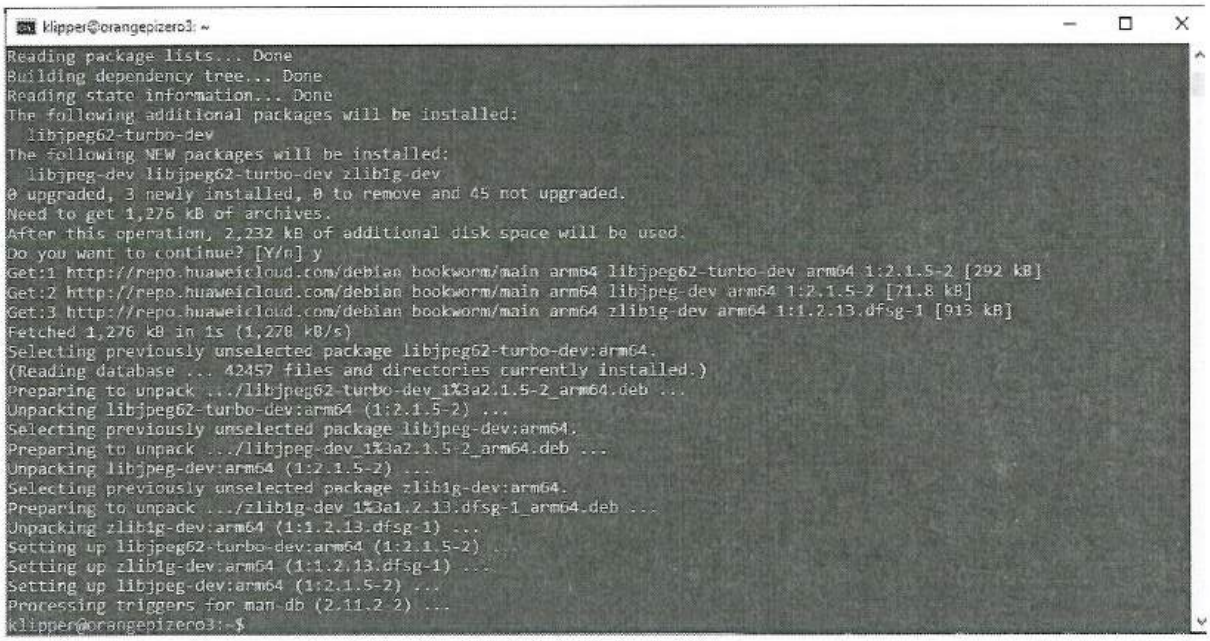


Рис. 2.17. Встановлення розробницьких бібліотек.

З цього моменту починається встановлення прошивки klipper. Для її встановлення необхідно завантажити засіб KIAUH (Klipper Installation And Update Helper) який є помічником для встановлення Klipper. Це робиться командою git clone https://github.com/th33xitus/kiauh.git. Після завантаження потрібно зайти в папку kiauh за допомогою команди cd kiauh та надати необхідні права командою chmod +x kiauh.sh scripts/* (Рис. 2.18).

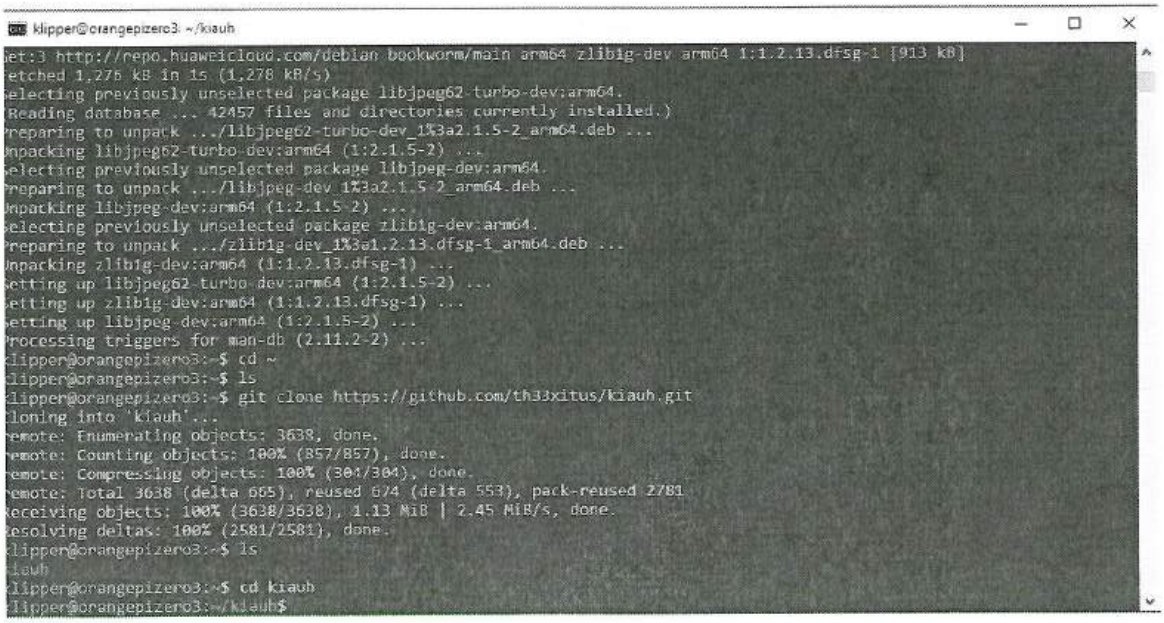


Рис. 2.18. Завантаження засобу KIAUH.

Помічник зі встановлення запускається командою ./kiauh.sh. З'явиться графічний інтерфейс (Рис. 2.19), за допомогою якого можна встановити всі сервіси необхідні для роботи Klipper.

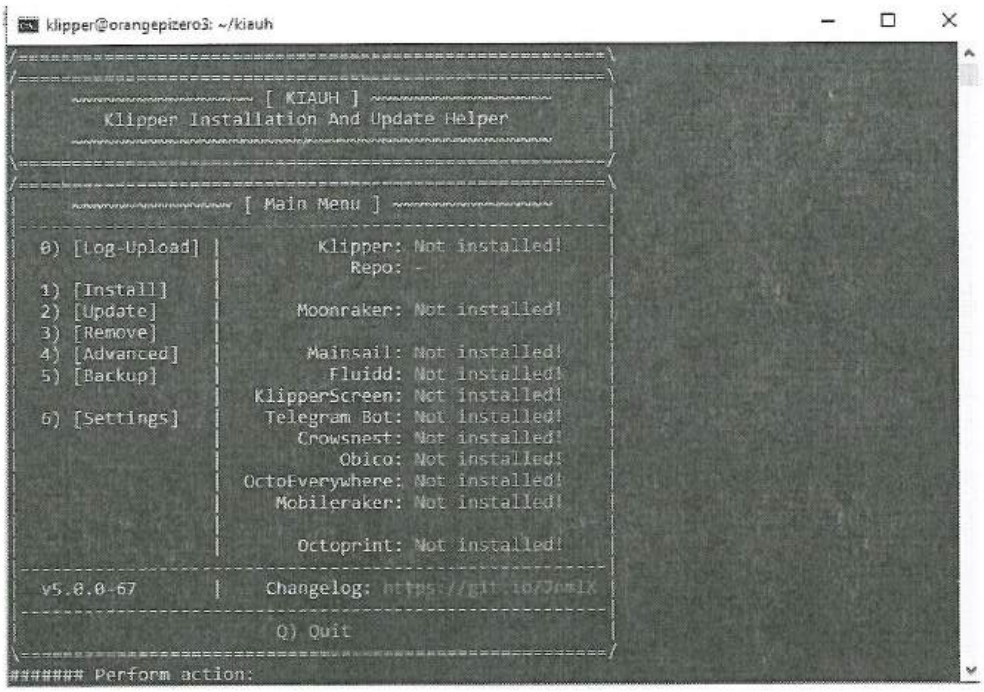


Рис. 2.19. Графічний інтерфейс засобу KIAUH.

Шляхом набору відповідних цифр, а саме – 1 вибирається дія встановлення (Рис. 2.20).

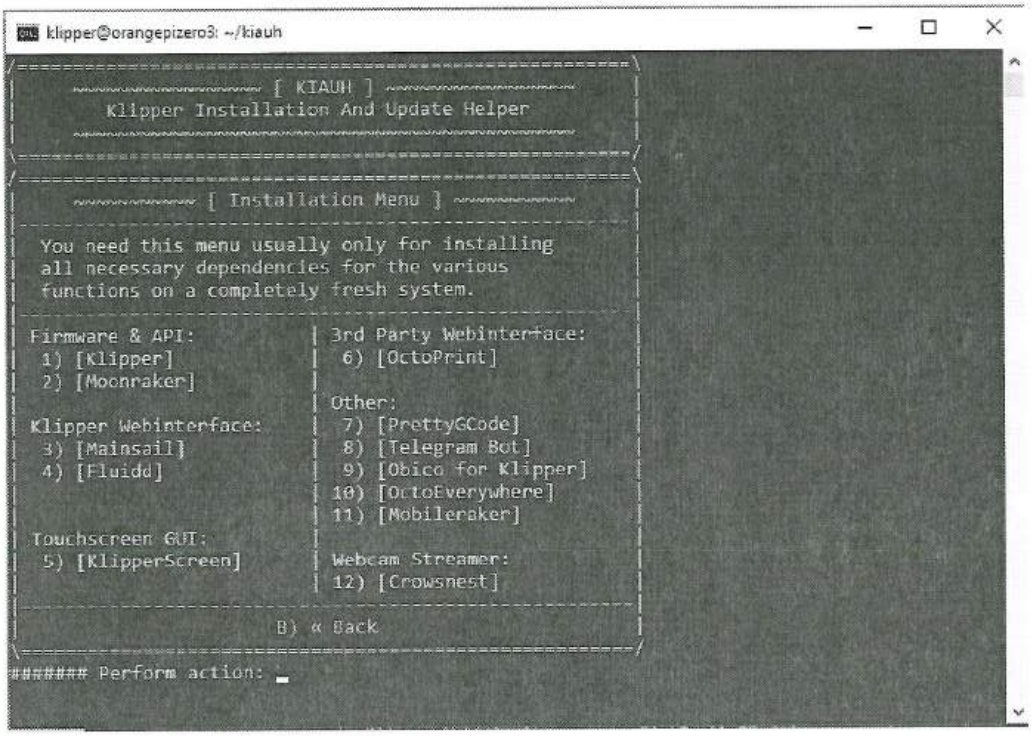


Рис. 2.20. Меню установки сервісів.

В першу чергу встановлюється сама прошивка Klipper, обирається рекомендована версія Python та кількість принтерів які будуть ним керуватися (Рис 2.21, 2.22).

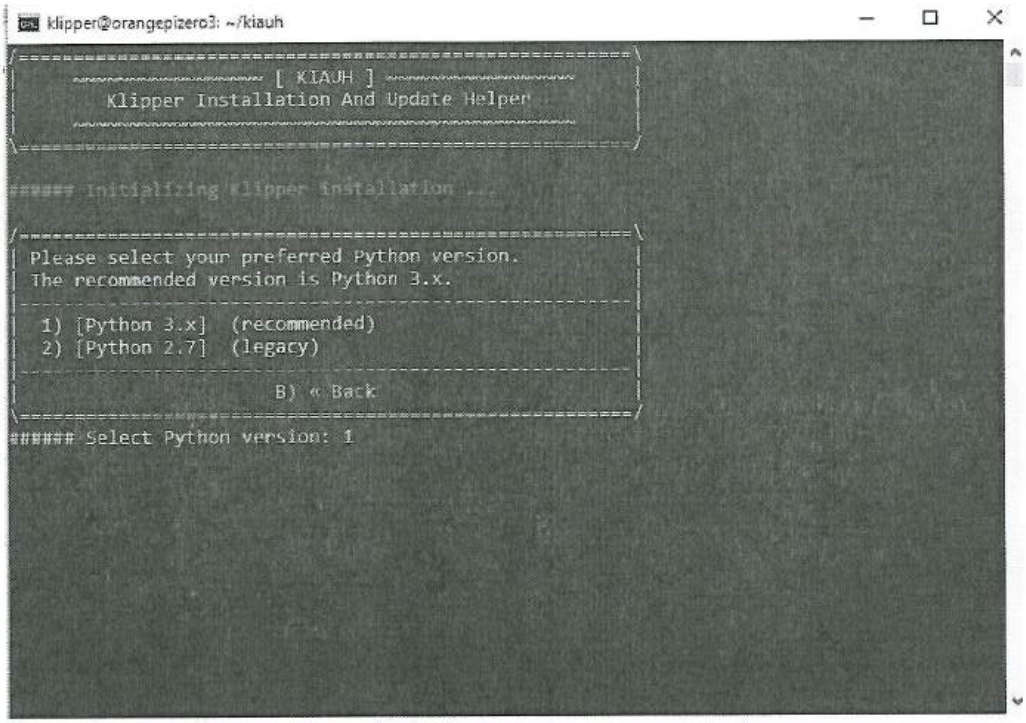


Рис. 2.21. Вибір версії Python.

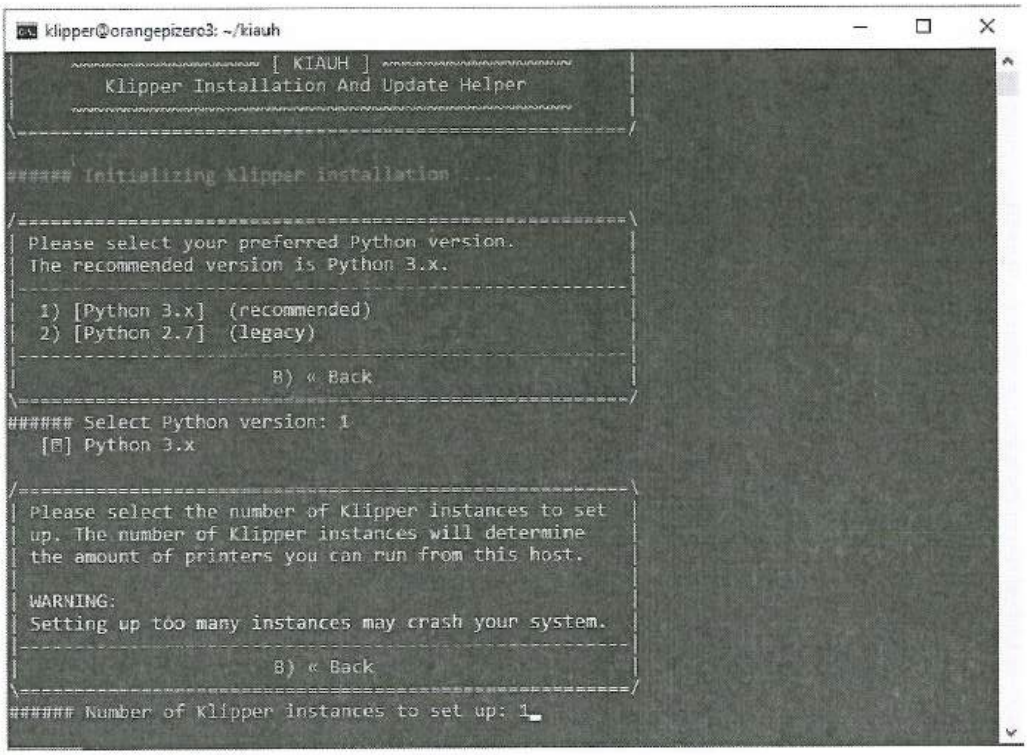


Рис. 2.22. Вибір кількості принтерів.

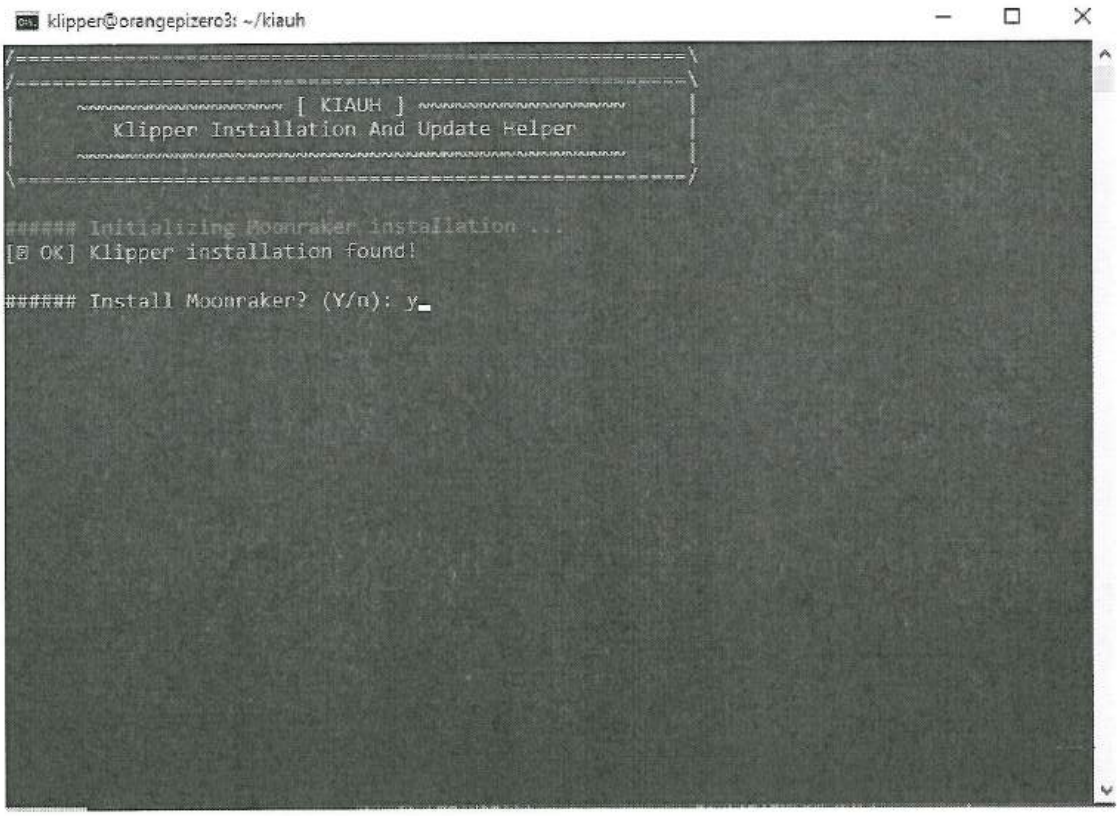


Рис. 2.23. Встановлення веб-серверу Moonraker.

Після встановлення прошивки встановлюється веб сервер Moonraker. (Рис. 2.23). Moonraker — це веб-сервер на основі Python 3, який надає API, за допомогою яких клієнтські програми можуть взаємодіяти з прошивкою для 3D-друку Klipper. Зв'язок між хостом Klippy і Moonraker здійснюється через сокет домену Unix. [12]

Останнім етапом є встановлення веб-інтерфейсу Fluidd, за допомогою якого користувач може взаємодіяти з принтером, відправляти команди, запускати друк та редагувати файли конфігурацій (Рис. 2.24).

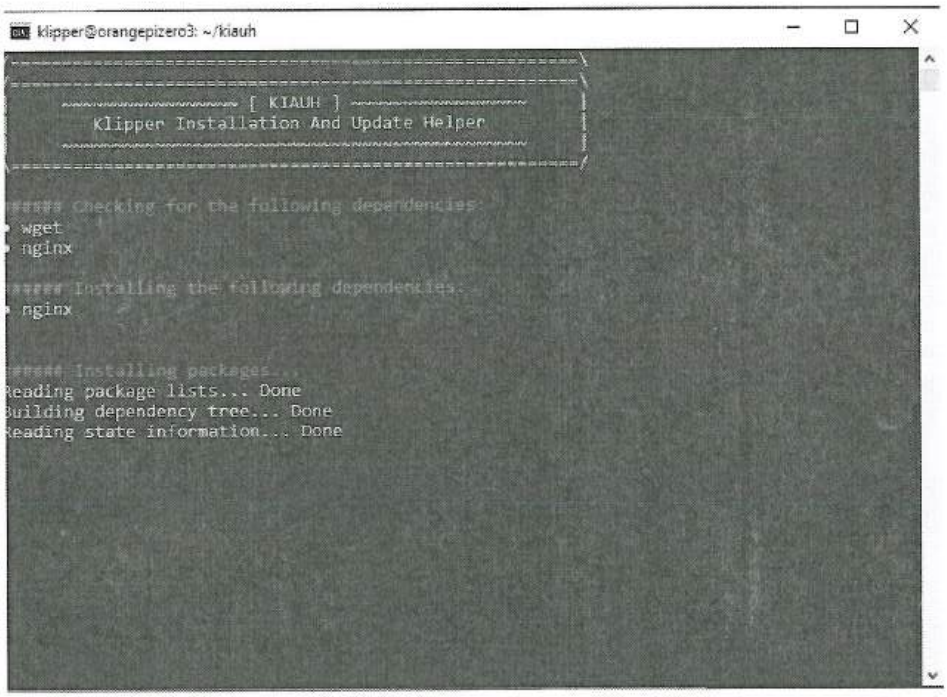


Рис. 2.24. Встановлення веб-інтерфейсу Fluidd

Після встановлення веб-інтерфейсу з'являється можливість перейти до нього ввівши в браузері IP адресу одноплатного комп'ютера отриману раніше, вигляд веб-інтерфейсу показаний на рисунку 2.25.

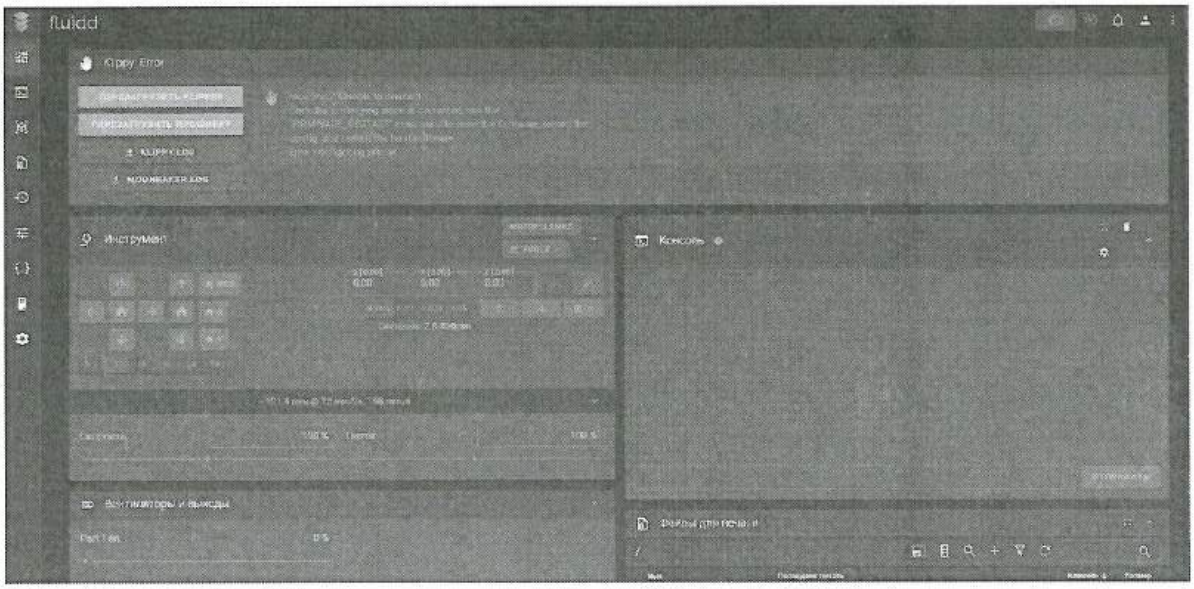


Рис. 2.25. Вигляд веб-інтерфейсу Fluidd

Для створення файлу прошивки материнської плати принтера необхідно командою cd перейти в домашній каталог, відобразити вміст папки командою ls, перейти в папку klipper та ввести команду make menuconfig. Після цього відкриється графічне меню (Рис. 2.26). [12]

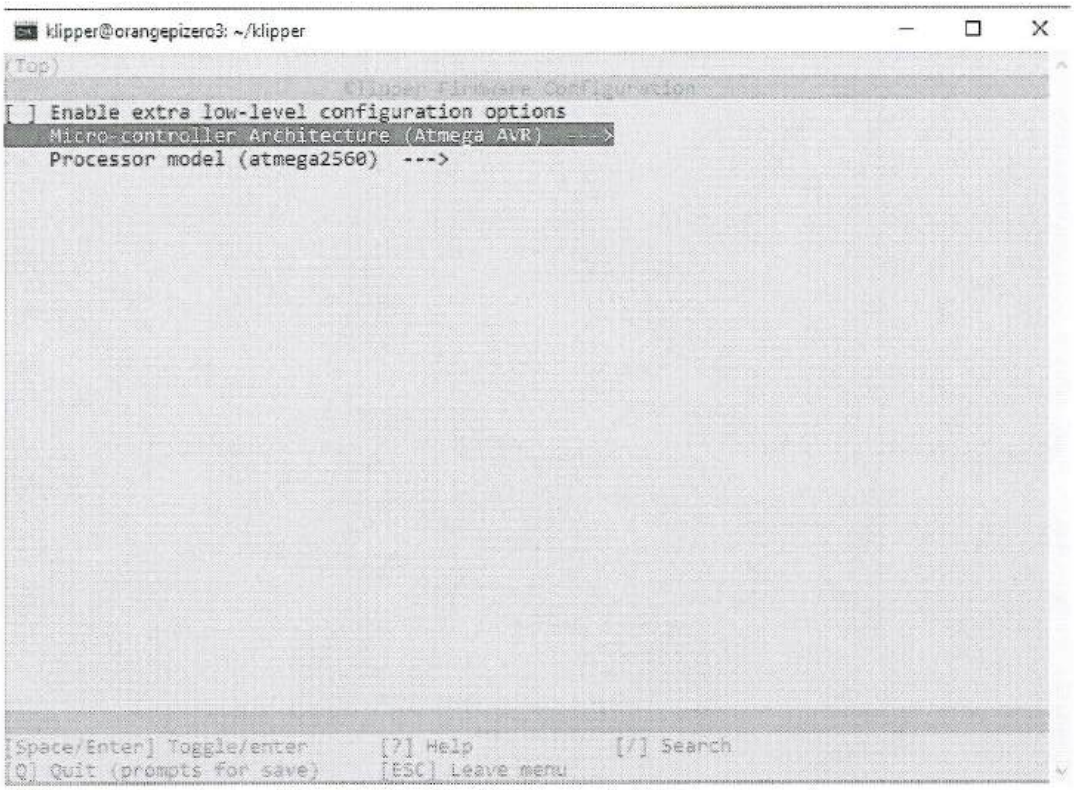


Рис. 2.26. Графічне меню налаштування параметрів

Для успішного встановлення прошивки материнської плати необхідно встановити параметри відповідні до неї, обрати тип мікроконтролера (Рис. 2.27, 2.28), розмір пам'яті завантажувача та інтерфейс передачі даних (Рис. 2.29).

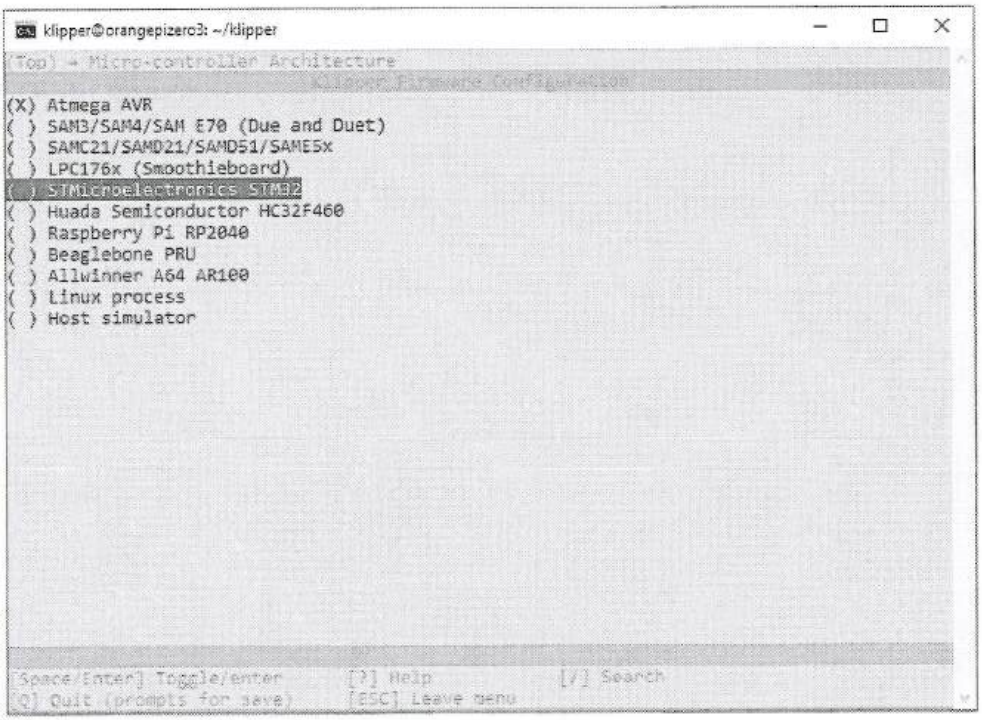


Рис. 2.27. Вибір архітектури мікроконтролера

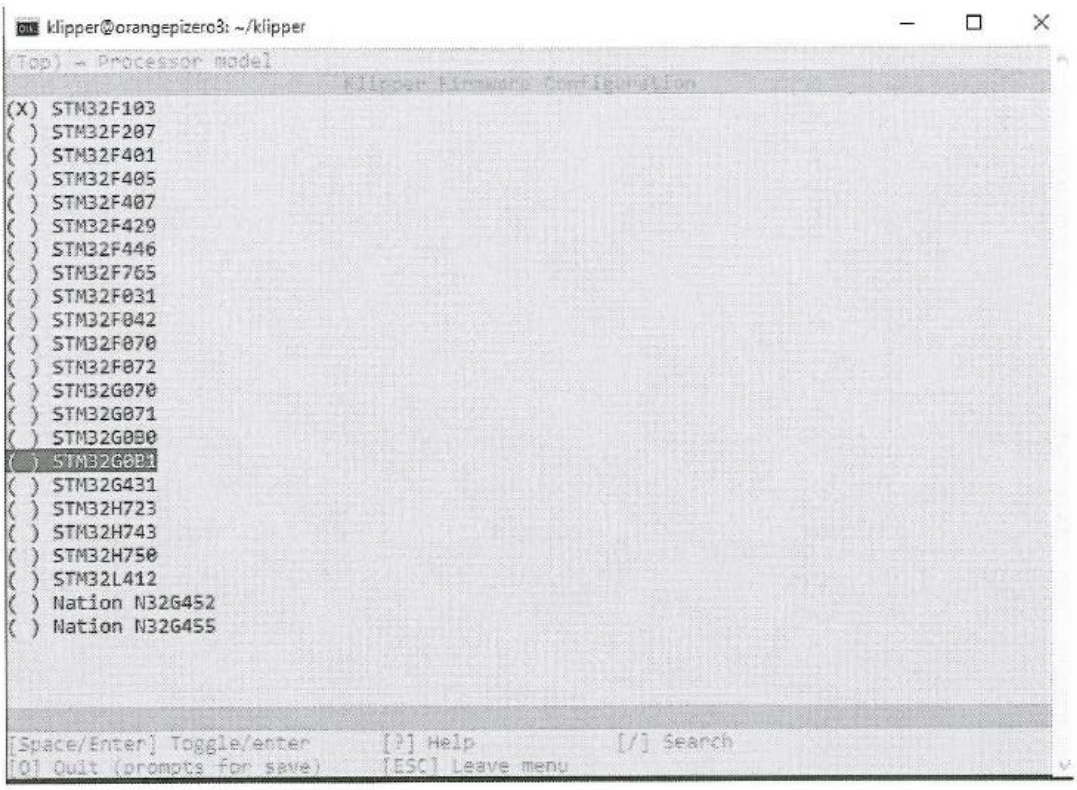


Рис. 2.28. Вибір моделі мікроконтроллера

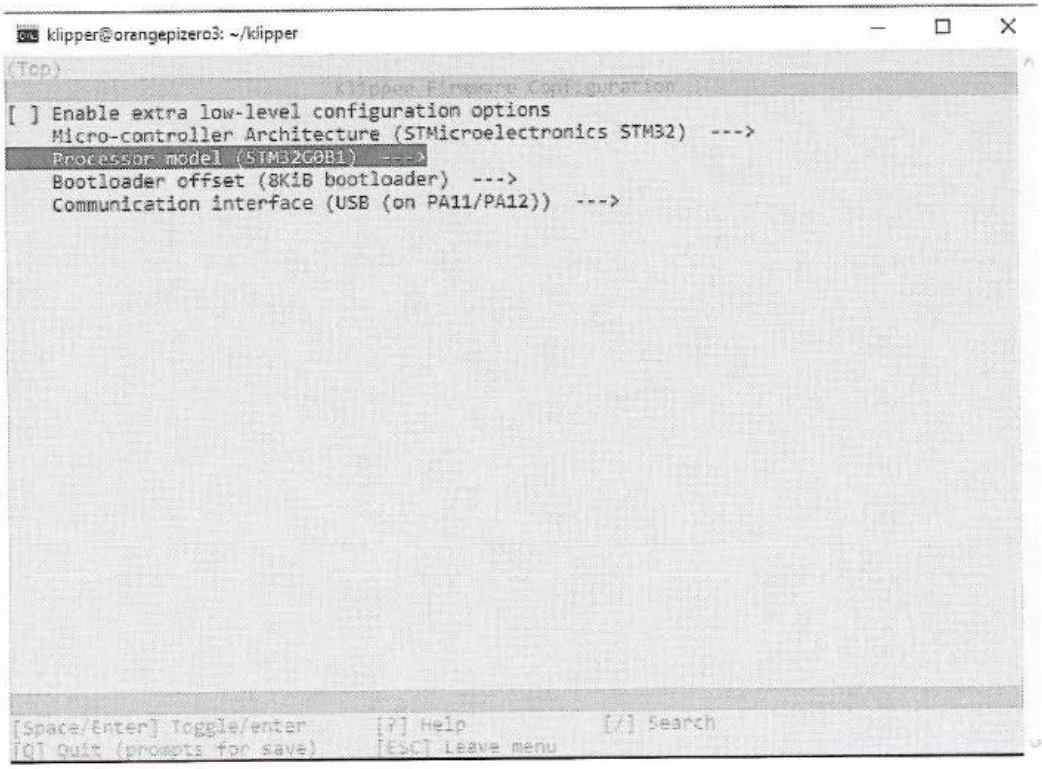


Рис. 2.29. Встановлення параметрів материнської плати

Після встановлення та перевірки правильності вводу усіх параметрів необхідно вийти з графічного інтерфейсу зберігши параметри. Для видалення тимчасових файлів які можуть негативно вплинути на файл прошивки ввести команду make clean. [12]

Для створення файлу прошивки використовується команда make. Щоб впевнитись в успішному створенні файлу командою ls потрібно відобразити вміст папки klipper, повинна з'явитись папка out (Рис. 2.30), при переході в неї командою cd out та ls повинен бути файл klipper.bin.

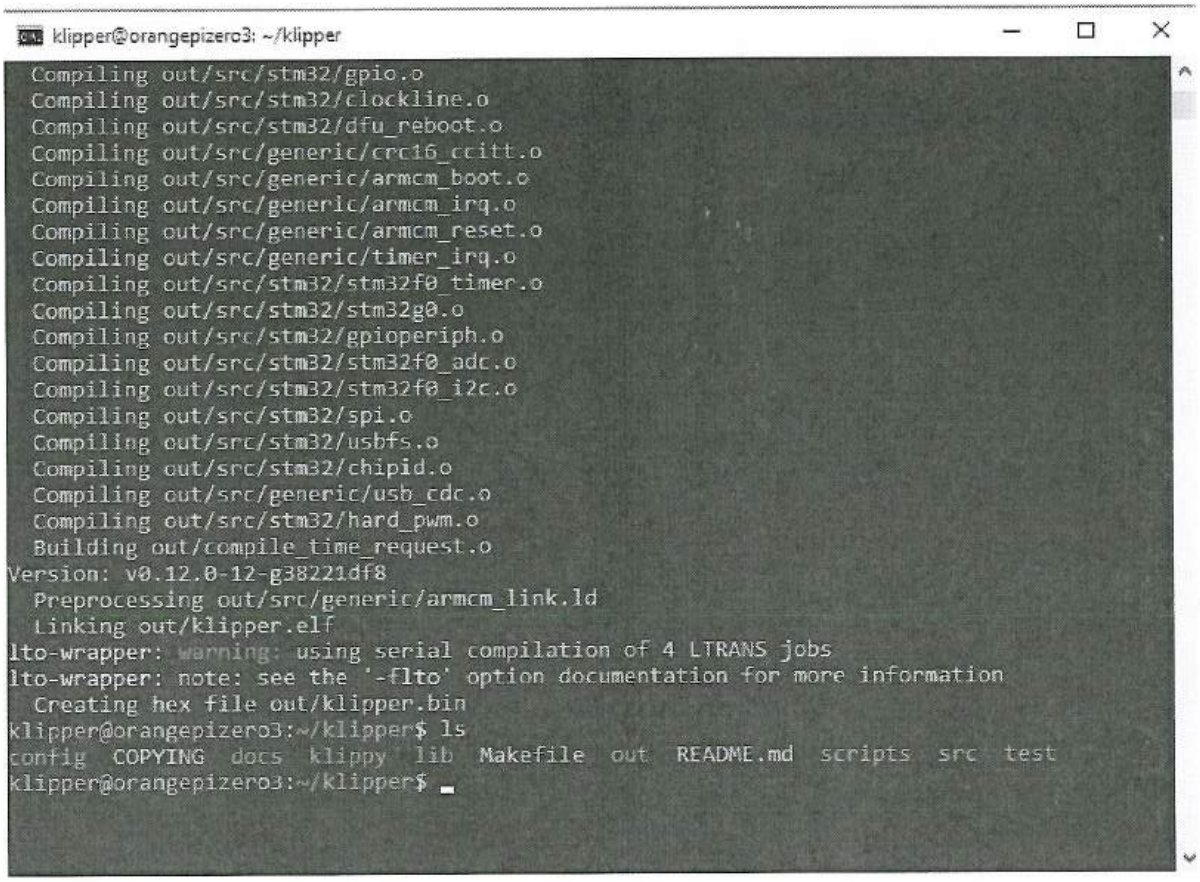


Рис. 2.30. Перевірка створеного файлу прошивки.

Для того, щоб перенести файл прошивки на робочий ПК знадобиться програма FileZilla. За допомогою цієї програми можна підключитися до одноплатного комп'ютера через протокол SSH та перенести необхідні файли, процес переносу файлу показано на рисунках 2.31 та 2.32.

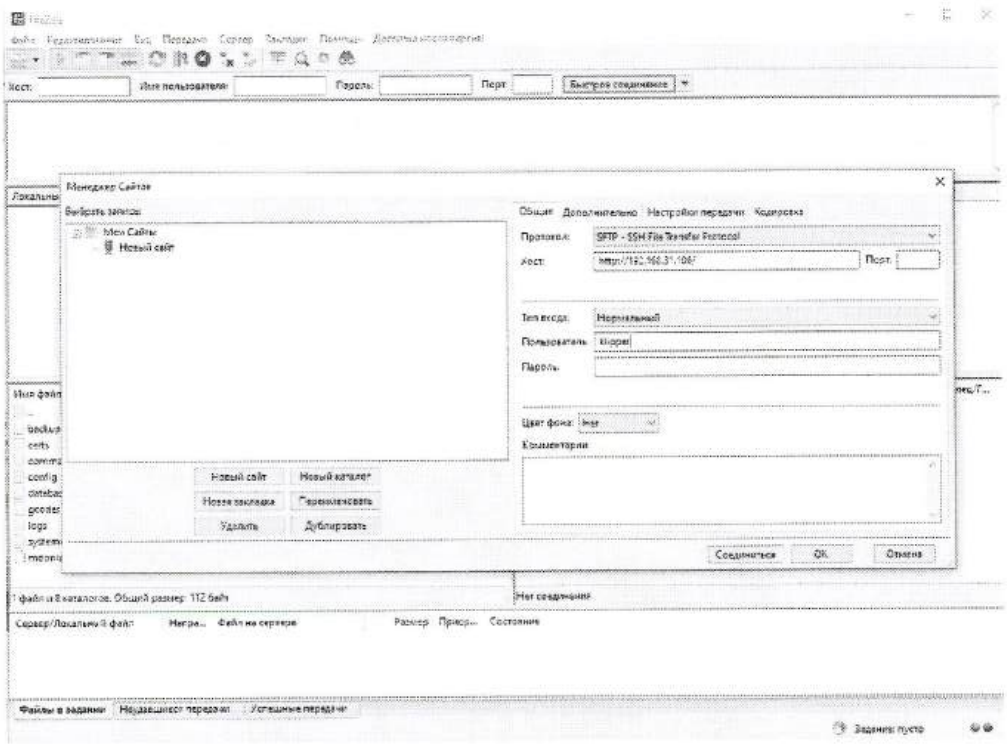


Рис. 2.31. Підключення по протоколу SSH.

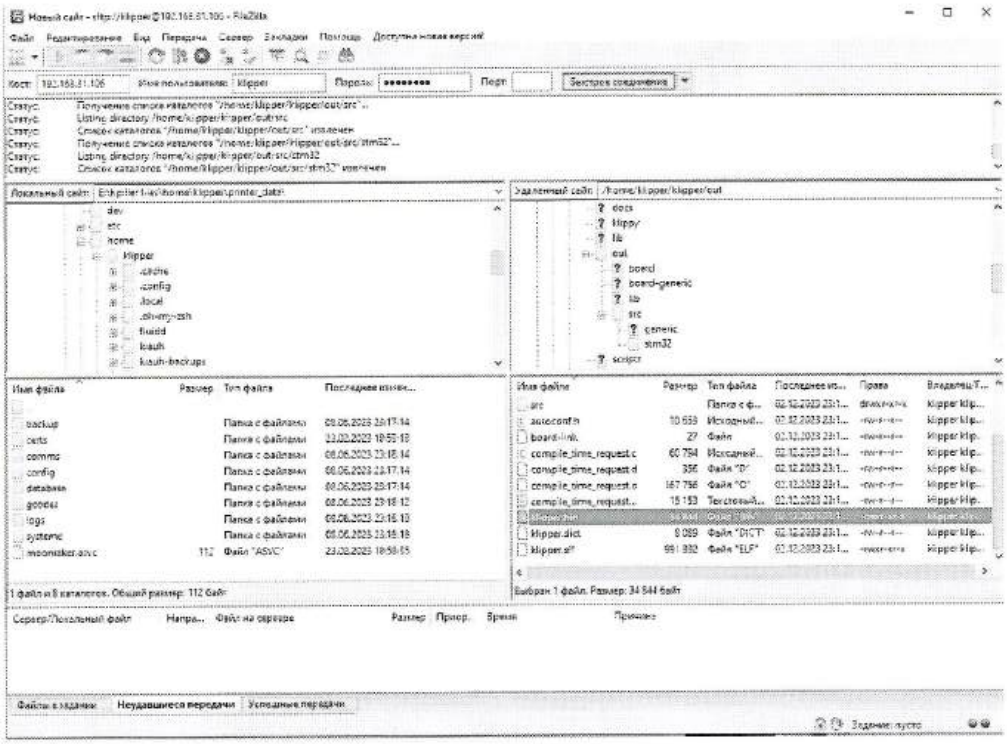


Рис. 2.32. Перенос файлу прошивки на робочий ПК.

Після переносу файлу необхідно перейменувати його в firmware.bin, заваниажити на фідформатовану карту пам'яті, під'єднати до вимкненого принтеру та увімкнути його. Почекавши 1 хвилину можна вимкнути принтер та

витягнути карту пам'яті. Для перевірки успішного встановлення карту пам'яті можна під'єднати до ПК, розширення файлу повинно змінитись на .cur.

Для того, щоб дізнатись шлях до материнської плати через який одноплатний комп'ютер буде взаємодіяти з нею потрібно в консолі одноплатного комп'ютера ввести команду ls /dev/serial/by-id/* (Рис.2.33), шлях який підсвічений блакитним кольором необхідно скопювати, перейти в веб-інтерфейс, розділ конфігурацій, відкрити файл printer.cfg та в розділі [mcu] додати рядок serial: «скопійований шлях» (Рис. 2.34).

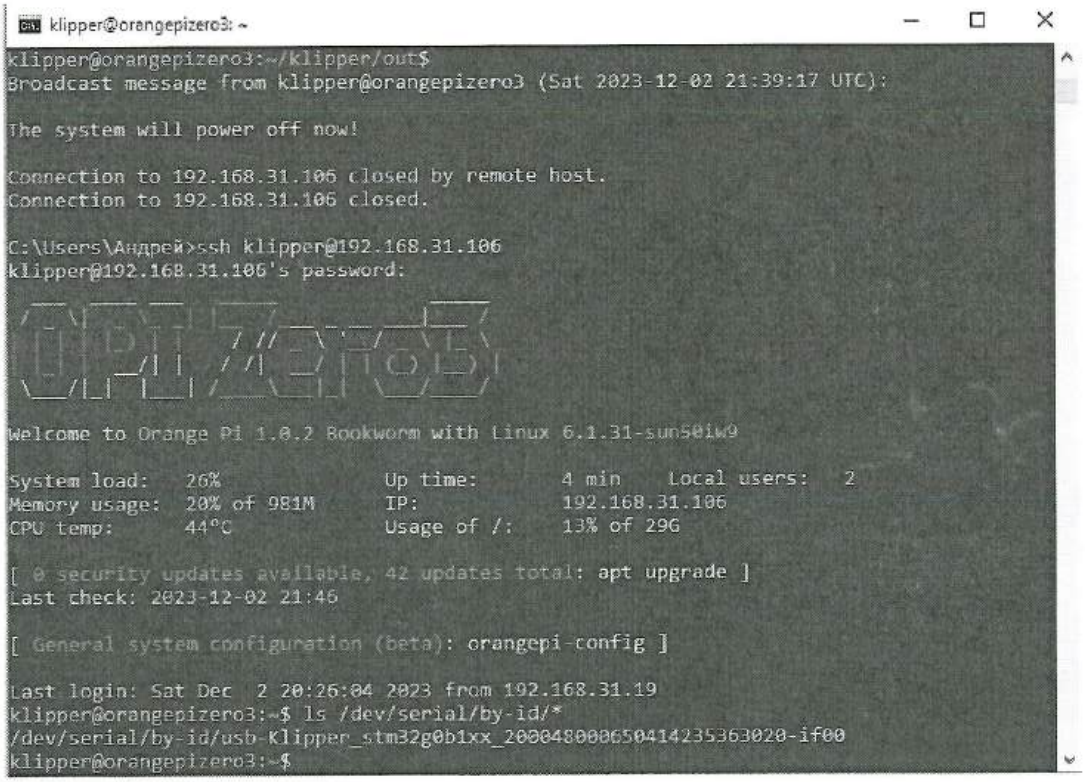


Рис. 2.33. Перевірка шляху до материнської плати.

```
[mcu]
serial: /dev/serial/by-id/usb-Klipper_stm32g0b1xx_200048000650414235363020-if00
baud: 250000
restart_method: command
```

Рис. 2.34. Додавання шляху в конфігураційний файл принтера.

Після додавання шляху можна запустити принтер і одноплатний комп'ютер, бажано це робити одночасно, для запобігання виникнення помилок підключення.

2.2.3 Налаштування, калібрування конфігурації 3D принтерів та об'єднання їх в мережу

Так як одразу після встановлення прошивки конфігураційний файл пустий, можливість керування принтером відсутня. Тому необхідно знайти готову конфігурацію під конкретну модель принтеру або написати її власноруч.

В даній роботі використана конфігурація з ресурсу GitHub до якої були внесені деякі зміни через розбіжність з компонентами наявного принтера, а саме замість датчика авто калібрування столу використовується кінцевий вимикач.

Код поділений на секції, кожна секція керує певним параметром. [13,14]

Код конфігурації та його опис подані нижче:

[include fluidd.cfg] # Додати файл конфігурації Fluidd

[virtual_sdcard] # Секція віртуальної карти пам'яті

path: /home/klipper/printer_data/gcodes # Шлях до віртуальної карти пам'яті

гоn_error_gcode: CANCEL_PRINT # У випадки помилки файлу відмінити друк

[mcu] # Секція параметрів материнської плати принтера

serial: /dev/serial/by-id/usb-Klipper_stm32g0b1xx_200048000650414235363020-if00 # Шлях для керування материнською платою

baud: 250000 # Швидкість передачі даних

restart_method: command # Метод перезавантаження - команда

[printer] # Секція параметрів принтера

kinematics: carthesian # Тип кінематики принтера

max_velocity: 300 # Максимальне значення швидкості

max_accel: 4000 # Максимальне значення прискорення

[stepper_x] # Секція налаштувань двигуна осі X

step_pin: PB13 # Номер контакту що відповідає за рух крокового двигуна

dir_pin: !PB12 # Номер контакту що відповідає за напрям обертання двигуна

enable_pin: !PB14 # Номер контакту що відповідає за подачу живлення двигуна

microsteps: 16 # Значення ділення кроків

rotation_distance: 40.05 # Значення кількості кроків двигуна для переміщення на 1мм

endstop_pin: ^PC0 # Номер контакту кінцевого вимикача

position_endstop: 0 # Позиція кінцевого вимикача за координатами

position_max: 248 # Максимальне значення координат двигуна

homing_speed: 50 # Швидкість під час відправки в домашню точку

[tmc2209 stepper_x] # Секція параметрів драйвера двигуна осі X

uart_pin: PC11 # Номер контакту що відповідає за підключення по протоколу UART

tx_pin: PC10 # Номер контакту передачі даних

uart_address: 0 # Адреса UART

run_current: 0.580 # Значення струму двигуна під час руху

[stepper_y] # Секція налаштувань двигуна осі Y

step_pin: PB10

dir_pin: !PB2

enable_pin: !PB11

microsteps: 16

rotation_distance: 40

endstop_pin: ^PC1

position_endstop: -4

position_min: -4

position_max: 234 #235

homing_speed: 50

[tmc2209 stepper_y] # Секція параметрів драйвера двигуна осі Y

```
uart_pin: PC11
tx_pin: PC10
uart_address: 2
run_current: 0.580

[stepper_z] # Секція налаштувань двигуна осі Z
step_pin: PB0
dir_pin: PC5
enable_pin: !PB1
microsteps: 16
rotation_distance: 8
endstop_pin: ^PC2
position_min: -3
position_max: 250
position_endstop: 0.0
position_max: 250


[tmc2209 stepper_z] # Секція параметрів драйвера двигуна осі Y
uart_pin: PC11
tx_pin: PC10
uart_address: 1
run_current: 0.580


[safe_z_home] # Секція параметрів домашньої точки осі Z
home_xy_position: 0, 0  # Координати сопла під час відправки в домашню точку
speed: 250 # Швидкість руху
z_hop: 10 # Величина підняття сопла після замикання кінцевого вимикача
```

z_hop_speed: 5 # Швидкість підняття сопла

[extruder] # Секція параметрів екструдера

step_pin: PB3

dir_pin: !PB4

enable_pin: !PD1

microsteps: 16

pressure_advance: 0.052 # Значення параметру Pressure Advance (Необхідне калібрування)

rotation_distance: 8

nozzle_diameter: 0.400 # Діаметр сопла, мм

filament_diameter: 1.750 # Діаметр філаменту, мм

heater_pin: PC8 # Номер контакту нагрівача сопла

sensor_type: EPCOS 100K B57560G104F # Тип термістора

sensor_pin: PA0 # Номер контакту термістора

control: pid # Метод керування температурою

pid_Kp: 20.473 # pid_Kp, pid_Ki, pid_Kd параметри керування (Необхідне калібрування)

pid_Ki: 1.167

pid_Kd: 89.827

min_temp: 0 # Мінімальна температура сопла

max_temp: 260 # Максимальна температура сопла

min_extrude_temp: 180 # Мінімальна температура екструдування

[tmc2209 extruder] # Секція параметрів драйвера двигуна екструдера

uart_pin: PC11

tx_pin: PC10

uart_address: 3

run_current: 0.650

[heater_bed] # Секція параметрів нагрівального столу

heater_pin: PC9 # Номер контакту нагрівального столу

```
sensor_type: EPCOS 100K B57560G104F # Тип термістора нагрівального столу
sensor_pin: PC4
control: pid
pid_Kp: 71.977
pid_Ki: 1.678
pid_Kd: 771.953
min_temp: 0
max_temp: 130

[heater_fan heatbreak_cooling_fan]
pin: PC7 # Номер контакту вентилятора охолодження радіатора екструдера

[heater_fan controller_fan]
pin: PB15 # Номер контакту вентилятора охолодження материнської плати

[fan]
pin: PC6 # Номер контакту вентилятора охолодження моделі


[display] # Секція параметрів дисплею
lcd_type: st7920 # Тип дисплею
cs_pin: PB8
sclk_pin: PB9
sid_pin: PD6
encoder_pins: ^PA10, ^PA9
click_pin: ^!PA15
[gcode_macro START_PRINT] # Макрос початку друку
gcode:
```

{% set BED_TEMP = params.BED_TEMP|default(60)|float %}

{% set EXTRUDER_TEMP = params.EXTRUDER_TEMP|default(205)|float %}

M104 S{EXTRUDER_TEMP} # Почати нагрівання екструдера

M140 S{BED_TEMP} # Почати нагрівання столу

G90 # Встановити абсолютні координати

G28 # Відправити всі осі в домашню точку

G1 Z2.0 F3000 # Підняти вісь Z вгору на 3мм

G1 X4.1 Y20 Z0.28 F5000.0 # Переміститись на координати старту друку

M190 S{BED_TEMP} # Дочекатися досягнення заданої температури столу

M109 S{EXTRUDER_TEMP} # Дочекатися досягнення заданої температури сопла

G92 E0 # Скинути координати екструдера до 0

G1 X4.1 Y200.0 Z0.28 F1500.0 E15 # Надрукувати першу лінію для стабілізації тиску в соплі.

G1 X4.4 Y200.0 Z0.28 F5000.0 # Здвинути сопло в бік

G1 X4.4 Y20 Z0.28 F1500.0 E30 # Надрукувати другу лінію для стабілізації тиску в соплі.

G92 E0 # Скинути координати екструдера до 0

G1 Z2.0 F3000 # Підняти вісь Z на 2мм для запобігання подряпування столу

[gcode_macro END_PRINT] # Макрос закінчення друку

gcode:

G91 # Відлік координат від поточної позиції

G1 E-2 F2700 # Втягнути 2мм пластику для запобігання його витікання з сопла

G1 E-2 Z0.2 F2400 # Втягнути 0.2мм пластику та підняти вісь Z на 0.2мм

G1 X5 Y5 F3000 # Перемістити вісь X та вісь Y на +5мм

G1 Z10 # Підняти вісь Z на 10мм

G90 # Встановити абсолютні координати

G1 X0 Y229 # Перемістити вісь X до координат 0мм та вісь Y до координат 229мм

M106 S0 # Вимкнути вентилятор обдуву моделі

M104 S0 # Вимкнути нагрівання сопла

M140 S0 # Вимкнути нагрівання стола

M84 X Y E # Вимкнути утримування двигунів, окрім двигуна вісі Z

```
[gcode_macro PAUSE] # Макрос паузи друку
gcode:
 {% set E = printer["gcode_macro PAUSE"].extrude|float %}
 ##### set park positon for x and y #####
 # default is your max posion from your printer.cfg
 {% set x_park = printer.toolhead.axis_maximum.x|float - 5.0 %}
 {% set y_park = printer.toolhead.axis_maximum.y|float - 5.0 %}
 {% set max_z = printer.toolhead.axis_maximum.z|float %}
 {% set act_z = printer.toolhead.position.z|float %}
 {% if act_z < (max_z - 2.0) %}
   {% set z_safe = 2.0 %}
 {% else %}
   {% set z_safe = max_z - act_z %}
 {% endif %}
 PAUSE_BASE
 G91
 {% if printer.extruder.can_extrude|lower == 'true' %}
  G1 E-{E} F2100
 {% else %}
  {action_respond_info("Extruder not hot enough")}
 {% endif %}
 {% if "xyz" in printer.toolhead.homed_axes %}
  G1 Z{z_safe} F900
```

```
  G90
  G1 X{x_park} Y{y_park} F6000
 {% else %}
  {action_respond_info("Printer not homed")}
 {% endif %}
[gcode_macro RESUME] # Макрос відновлення друку після паузи
rename_existing: RESUME_BASE
gcode:
 {% set E = printer["gcode_macro PAUSE"].extrude|float %}
 #### get VELOCITY parameter if specified ####
 {% if 'VELOCITY' in params|upper %}
  {% set get_params = ('VELOCITY=' + params.VELOCITY)  %}
 {%else %}
  {% set get_params = "" %}
 {% endif %}
 {% if printer.extruder.can_extrude|lower == 'true' %}
  G91
  G1 E{E} F2100
 {% else %}
  {action_respond_info("Extruder not hot enough")}
 {% endif %}
 RESUME_BASE {get_params}
[gcode_macro CANCEL_PRINT] # Макрос скасування друку
description: Cancel the actual running print
rename_existing: CANCEL_PRINT_BASE
gcode:
 TURN_OFF_HEATERS
 CANCEL_PRINT_BASE
  G91
  G1 E-2 F2700
```

G1 E-2 Z0.2 F2400

G1 X5 Y5 F3000

G1 Z10

G90

G1 X0 Y229

M106 S0

M104 S0

M140 S0

M84 X Y E

Після додавання коду в конфігураційний файл можна перевірити правильність конфігурації віддавши принтеру команди на рух, нагрівання, відправку в домашню точку і т.д через кнопки в веб-інтерфейсі. Для запобігання виникнення нештатних ситуацій необхідно тримати руку на тумблері вимкнення принтера і у разі виникнення такої негайно вимкнути живлення принтера, та після ввімкнення почати діагностику несправності яка виникла. [15]

Якщо після віддавання команд принтер виконав їх успішно можна приступити до калібрування низки параметрів.

Першим параметром який необхідно відкалібрувати є PID алгоритм регулювання температури.

PID - це абревіатура, яка означає пропорційно-інтегрально-диференційний регулятор. Це алгоритм керування, який використовується для автоматичного регулювання систем зворотного зв'язку, зокрема систем керування температурою, швидкістю чи позицією. [16]

Кожна складова PID має своє призначення:

Пропорційна (P): Реакція на поточну помилку. Чим більше величина помилки, тим більша потужність виходу регулятора.

Інтегральна (I): Контроль накопичення помилок з часом. Вона компенсує невеликі постійні помилки, які не можуть бути виправлені пропорційною складовою.

Диференційна (D): Попередження подальшого зростання помилки. Це спрямовано на зменшення гостроти реакції, коли система наближається до бажаного значення.

В контексті керування температурою, PID-регулятор використовується для підтримки стабільної температури нагрівача.

Для калібрування PID сопла в консолі веб-інтерфейсу необхідно виконати команду PID_CALIBRATE HEATER=extruder TARGET=240 де TARGET=240 – цільова температура нагрівання. Після виконання команди принтер почне виконувати цикли калібрування нагріваючи та охолоджуючи сопло. Буде виконано 6 таких циклів, які можна спостерігати на графіку (Рис. 2.35) температур що знаходиться у вікні відображення температур елементів принтера. [16]

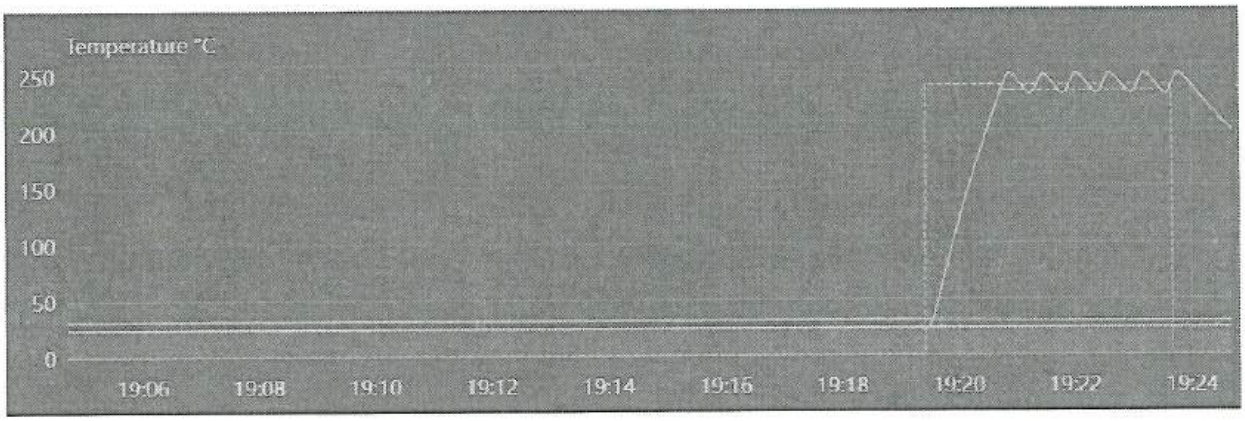


Рис. 2.35. Графік коливання температури сопла

Після завершення циклів в консолі веб-інтерфейсу з'являться відкалібровані параметри PID (Рис. 2.36), які необхідно перенести в конфігураційний файл, в секцію [extruder].

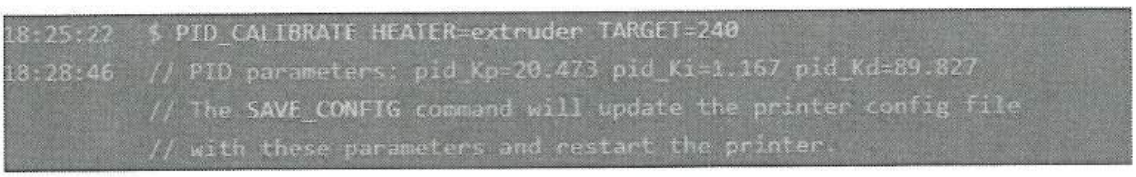


Рис. 2.36. Відкалібровані параметри PID сопла

Тепер необхідно відкалібрувати параметри PID нагрівального столу, для цього використовується команда PID_CALIBRATE HEATER=heater_bed TARGET=70, де TARGET=70 – цільова температура столу. Коливання температури столу також можна відслідковувати в графіку температур (Рис. 2.37).

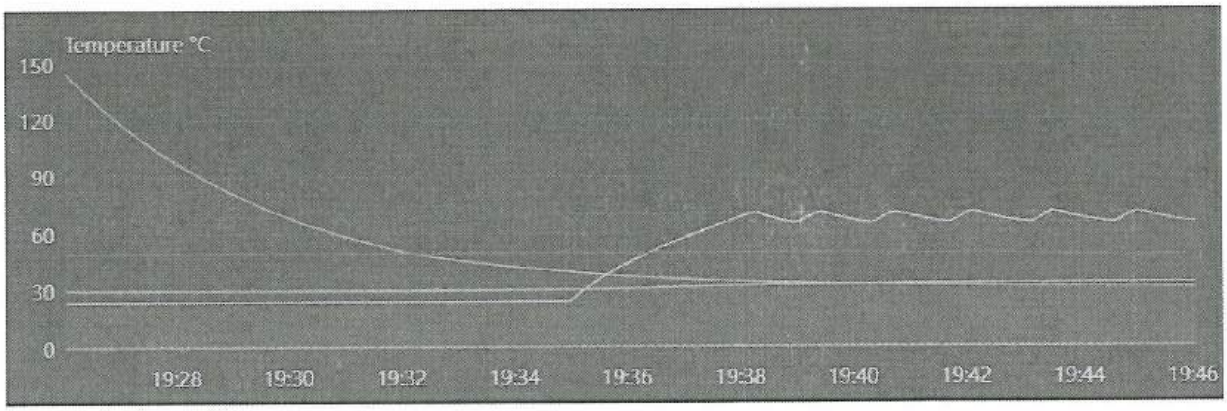


Рис. 2.37. Графік коливання температури столу

Цей графік є більш плавним через те, що стіл має більшу теплоємність і повільніше нагрівається та охолоджується порівняно з соплом. Після закінчення циклів відкалібровані параметри так само будуть відображені в консолі (Рис. 2.38), їх необхідо перенести в конфігураційний файл, в секцію [heater_bed].

```
18:33:30  $ PID_CALIBRATE HEATER=heater_bed TARGET=70
18:43:36  // PID parameters: pid_Kp=71.977 pid_Ki=1.678 pid_Kd=771.953
          // The SAVE_CONFIG command will update the printer config file
          // with these parameters and restart the printer.
```

Рис. 2.38. Відкалібровані параметри PID столу.

Після внесення нових параметрів необхідно зберегти конфігураційний файл та перезавантажити одноплатний комп'ютер.

Наступним параметром для калібрування є алгоритм Pressure Advance. Pressure Advance (також відомий як "Linear Advance") - це техніка в 3D-друці, яка використовується для покращення якості друку, зокрема уникнення зайвого матеріалу під час зупинок руху (зміни швидкості або напрямку). [17]

У 3D-друці, коли гарячий пластик видавлюється через сопло, виникає тиск. При різкому зупиненні руху, особливо на високих швидкостях, цей тиск може спричинити зайве витікання матеріалу або подавання додаткового матеріалу. "Pressure Advance" спроектований для компенсації цього ефекту.

Алгоритм Pressure Advance розраховує оптимальну кількість додаткового матеріалу, яку треба витиснути перед зупинкою руху, щоб уникнути зайвого витікання. Це може поліпшити різкі кути та зменшити видимість нерівностей в друкованих виробах, особливо на великих швидкостях.

Для калібрування цього алгоритму необхідно перейти на офіційний сайт Klipper - https://www.klipper3d.org/Pressure_Advance.html
та завантажити калібровочну модель (Рис 2.39), перемістити її в слайсер, і нарізати з такими параметрами: кількість стінок моделі – 1, заповнення – 0%, кількість шарів кришки моделі – 0, та перенести через веб-інтерфейс на карту пам'яті принтеру в розділ «Файли для друку». Перед калібруванням в консоль веб-інтерфейсу необхідно ввести такі команди: SET_VELOCITY_LIMIT SQUARE_CORNER_VELOCITY=1 ACCEL=500, ця команда обмежить швидкість проходження кутів до 1мм/с та прискорення до 500мм/с^2, та команду TUNING_TOWER COMMAND=SET_PRESSURE_ADVANCE PARAMETER=ADVANCE START=0 FACTOR=.005, ця команда запустить алгоритм калібрування, при якому на кожному новому шарі коефіцієнт буде збільшуватись на 0.005. Після цього можна запустити друк моделі.

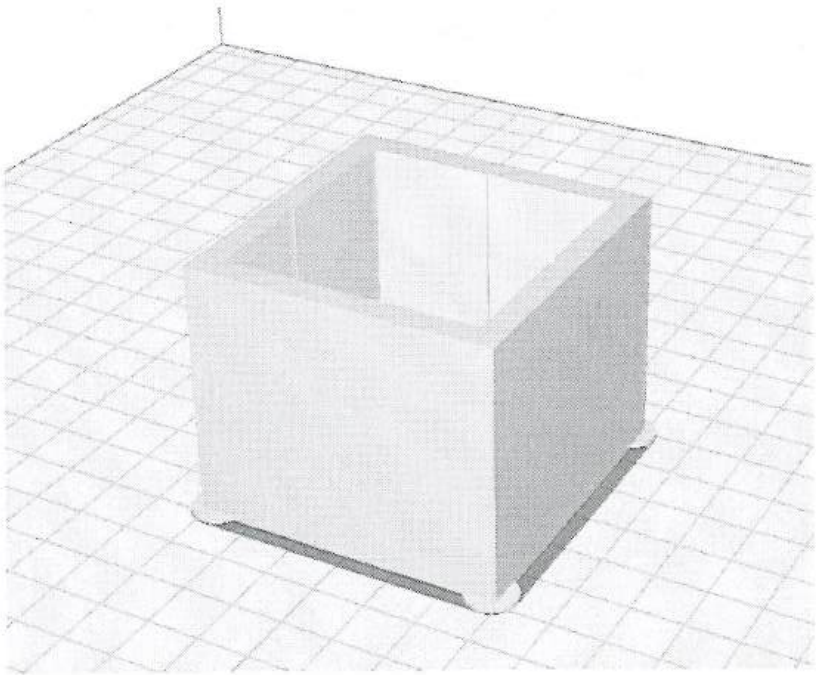


Рис. 2.39. Модель для калібрування Pressure Advance

Після друку модель буде виглядати, як показано на рисунку 2.40. Якщо дивитися з низу моделі буде помітно що спочатку кути випирають назовні, поступово стають чіткими і опісля з'являються щілини на стінках біля кутів, друк можна зупинити раніше, як тільки почнуть з'являтися пропуски.

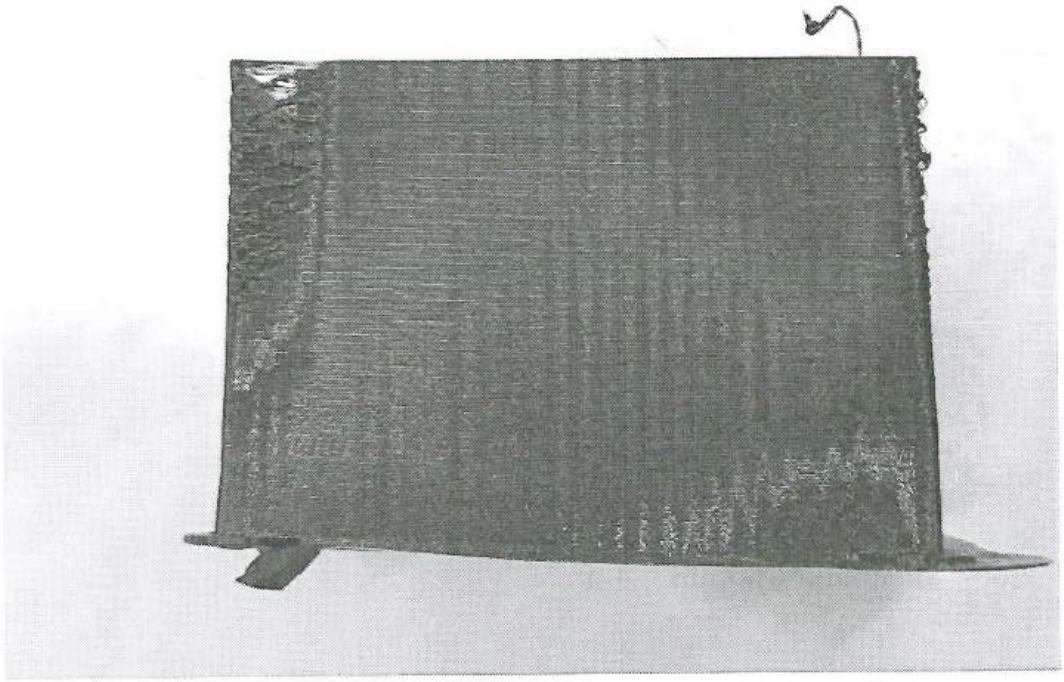


Рис. 2.40. Надрукована калібровочна модель.

Для вибору оптимального значення параметру Pressure Advance необхідно проаналізувати надруковану модель та визначити висоту на якій кути виприають найменше і при цьому відсутні щілини. Було обрано як оптимальну висоту 10.5мм, для отримання значення параметру необхідно помножити висоту в міліметрах на крок зміни значення, було отримано число 0.52, його необхідно внести в конфігураційний файл, в секцію [pressure_advance] - pressure_advance: 0.052.

Останнім кроком калібрування є калібрування алгоритму Input Shaping. Input shaping (формування вхідного сигналу) в 3D-друці відноситься до техніки корекції вхідного сигналу для зменшення вібрацій і поліпшення якості друку. Основна ідея полягає в тому, щоб оптимізувати шлях, яким рухається 3D-принтер, з урахуванням його маси та механічних властивостей. [18]

Основні аспекти input shaping:

Маса та жорсткість системи: В 3D-принтерах є рухомі компоненти, такі як гарячий кінець та платформа, які мають свою масу та структуру. Ці параметри впливають на реакцію системи на зміни швидкості та напрямку руху.

Вібрації: Швидкі рухи або стрибки можуть викликати вібрації, особливо на легких або гнучких конструкціях. Input shaping спрямований на зменшення цих вібрацій, допомагаючи пристосувати шлях руху.

Алгоритми корекції: Input shaping використовує алгоритми для попередження виникнення резонансу та вібрацій. Це може включати в себе створення плавних кривих руху, які зменшують стрибкоподібні зміни швидкості та прискорення.

Моделювання системи: Деякі методи input shaping використовують моделювання системи, щоб точніше коригувати вхідні сигнали відповідно до фізичних властивостей принтера.

В результаті, input shaping допомагає запобігти виникненню зайвих вібрацій і покращити точність та якість друку. Застосування цієї техніки може вимагати налаштувань та експериментів для досягнення оптимальних результатів залежно від конкретного обладнання і вимог друку.

Існує два способи калібрування цього алгоритму: ручний та автоматичний. Автоматичний спосіб полягає у зчитуванні вібрацій за допомогою акселерометра та автоматичного підбору необхідної частоти для гашення вібрацій.

Для автоматичного калібрування необхідно підключити модуль акселерометра ADXL345 до материнської плати принтера згідно схеми показаної на рисунку 2.41.

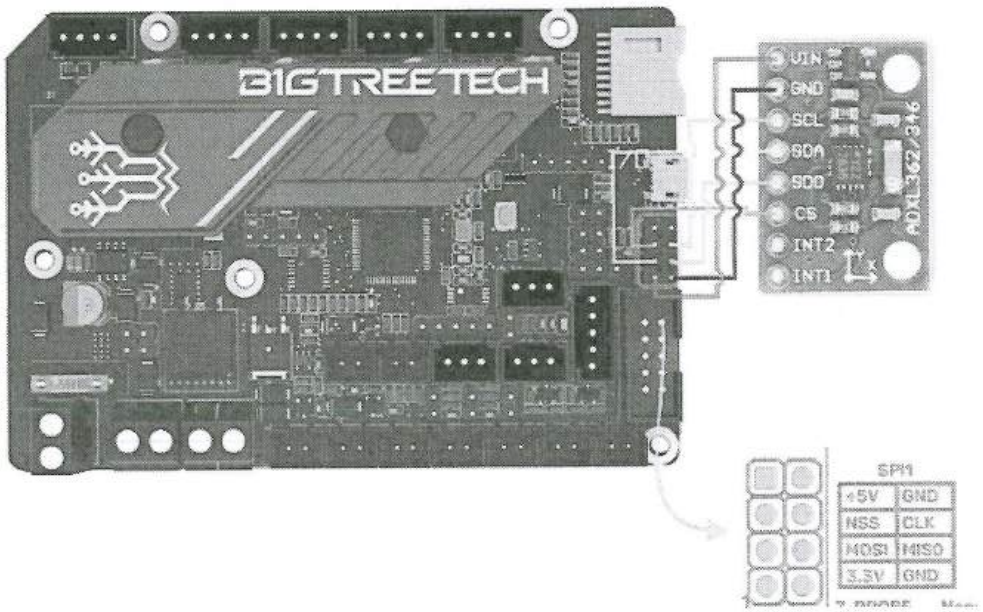


Рис. 2.41. Схема підключення акселерометра

Також необхідно в конфігураційному файлі додати секцію [adxl345] та в неї внести параметри cs_pin: PD9 та spi_bus: spi1.

Модуль акселерометра необхідно жорстко закріпити на друкуючій голові принтера та у консолі веб інтерфейсу виконати команду TEST_RESONANCES AXIS=X. Принтер почне виконувати вібрації друкуючою головою зі збільшенням частоти. Після цього необхідно закріпити модуль акселерометра на столі принтера та виконати команду TEST_RESONANCES AXIS=Y. Після завершення зчитування необхідно зберегти результати в графіки, це робиться командами ~/klipper/scripts/calibrate_shaper.py /tmp/resonances_x_*.csv –o /tmp/shaper_calibrate_x.png

~/klipper/scripts/calibrate_shaper.py /tmp/resonances_y_*.csv -o /tmp/shaper_calibrate_y.png

Після зберігання, на одноплатному комп`ютері будуть створені файли з графіками частот, що знаходяться за шляхом /tmp/shaper_calibrate_x.png та /tmp/shaper_calibrate_y.png, їх можна переглянути підключившись до

одноплатного комп'ютера через програму File Zilla, графіки будуть виглядати подібно як показано на рисунку 2.42.

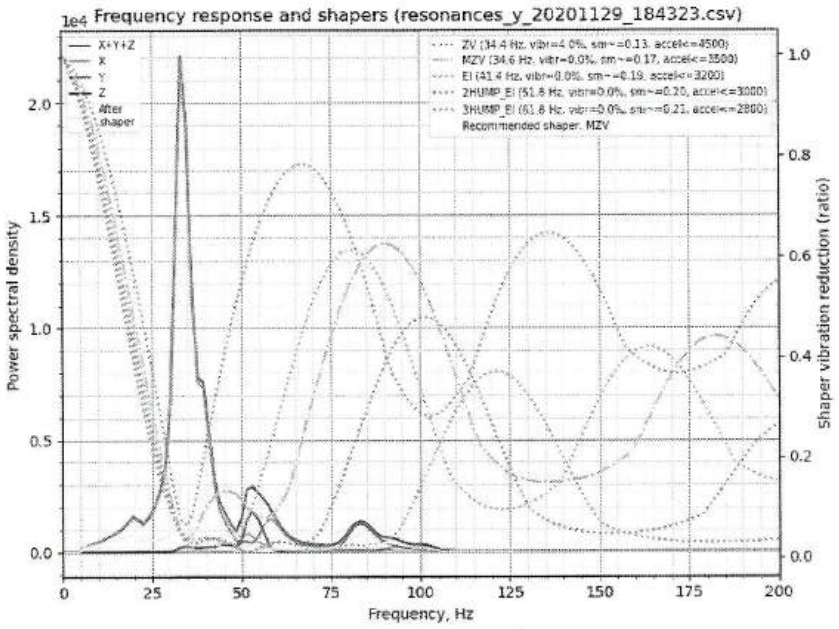


Рис. 2.42. Графік зчитування вібрацій

Суцільна лінія на графіку показує частоту та амплітуду коливань, всі інші лінії вказують на типи роботи гасіння вібрацій та на скільки великі вібрації вони можуть гасити. Поле в правому верхньому куті графіку вказує на оптимальний тип алгоритму, його частоту та максимальні прискорення рухів принтера, які можна використовувати без погіршення якості друку.

Для збереження оптимального варіанту та частоти алгоритму необхідно в конфігураційному файлі створити секцію [input_shaper] та внести такі параметри:

shaper_type_y = «рекомендований тип алгоритму для осі Y»

shaper_freq_y = «рекомендована частота роботи алгоритму для осі Y»

shaper_type_x = «рекомендований тип алгоритму для осі X»

shaper_freq_x = «рекомендована частота роботи алгоритму для осі X»

Для ручного калібрування необхідно підготувати перевірочну модель, що використовувалась для попередньої оцінки якості друку та прискорень, в консолі веб-інтерфейсу виконати команду SET_INPUT_SHAPER SHAPER_TYPE_X=mzv SHAPER_TYPE_Y=mzv SHAPER_FREQ_X=0, ця команда встановить тип

алгоритму MZV для осі X та Y та частоту 0 для осі X, команда TUNING_TOWER COMMAND=SET_INPUT_SHAPER PARAMETER=SHAPER_FREQ_Y START=30 STEP_DELTA=5 STEP_HEIGHT=5, ця команда активує процес зміни частоти на 5Гц для осі Y, кожні 5мм висоти з початковим значенням 30Гц. Після вводу команд необхідно надрукувати підготовану модель, результат друку показаний на рисунку 2.43.

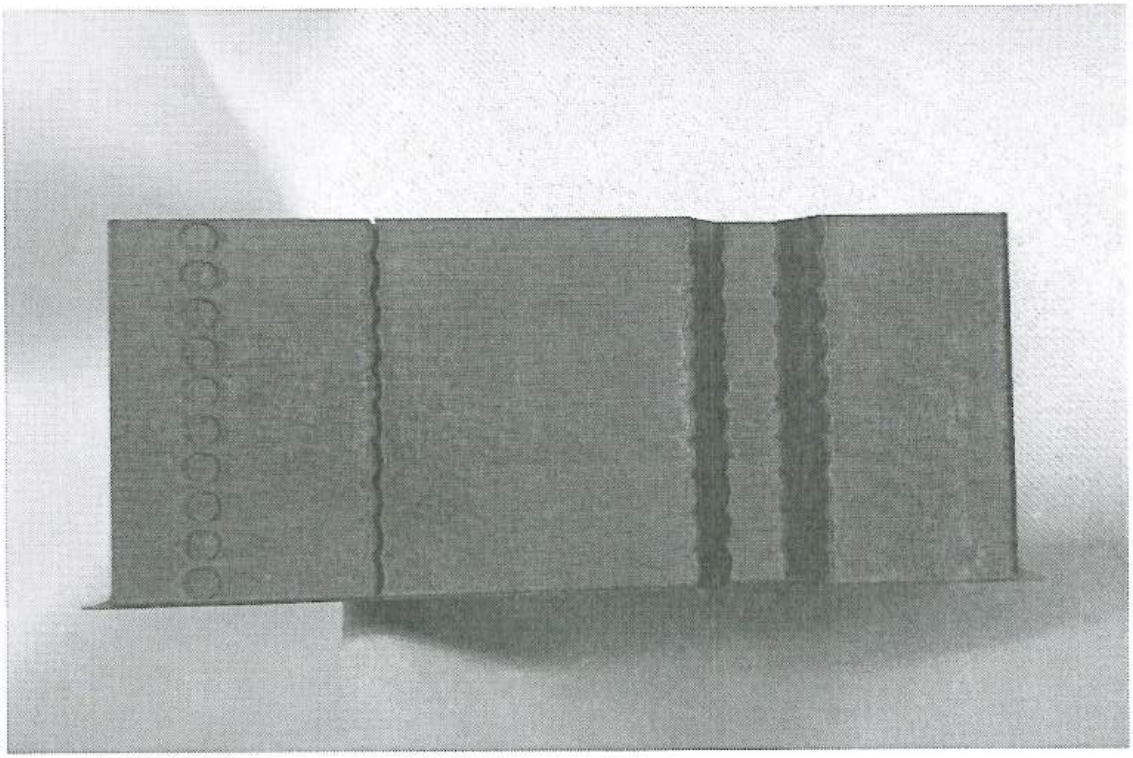


Рис. 2.43. Результат друку для підбору частоти.

Для вибору оптимальної частоти необхідно візуально перевірити модель та обрати висоту на якій найменше видно повторюваність геометрії та згідно кратності зміни частоти кожні 5мм висоти починаючи з 30Гц обрати потрібну та внести її в конфігураційний файл.

Для підбору частоти осі X необхідно виконати команду SET_INPUT_SHAPER SHAPER_TYPE_X=mzv SHAPER_TYPE_Y=mzv SHAPER_FREQ_Y= «значення частоти виміряне попередньо» та команду TUNING_TOWER COMMAND=SET_INPUT_SHAPER PARAMETER=SHAPER_FREQ_X START=40 STEP_DELTA=10 STEP_HEIGHT=5 ця команда активує процес зміни частоти на 10Гц для осі X, кожні 5мм висоти з початковим значенням 40Гц, після чого повторити друк моделі та обрати

оптимальну частоту, як це було зроблено но осі Y. Процес встановлення прошивки та калібрування параметрів завершено, необхідно повторити всі кроки для інших наявних на виробництві принтерів, у випадку якщо принетри однакові частину відкаліброваних параметрів можна перенести в конфігураційні файли інших принтерів. [18]

Для додавання принтерів в мережу необхідно в веб-інтерфейсі в правому верхньому куті натиснути на три крапки та натиснути Add a printer та у полі яке з'явилось ввести IP адресу кожного принтера окремо (Рис. 2.44 та рис. 2.55).

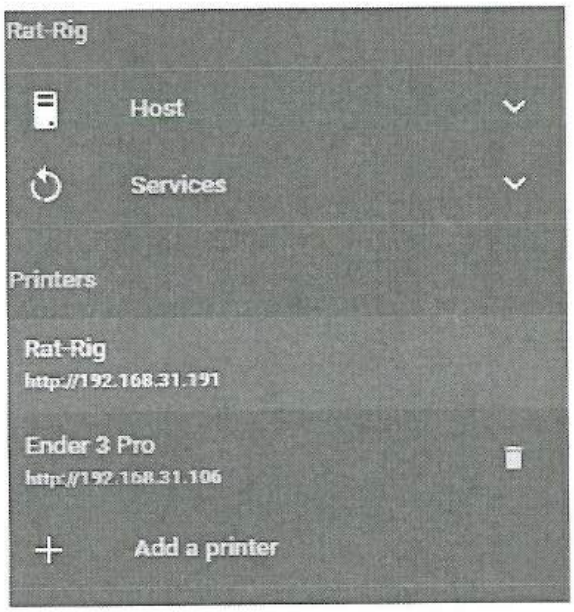


Рис. 2.44. Меню об'єднання принтерів

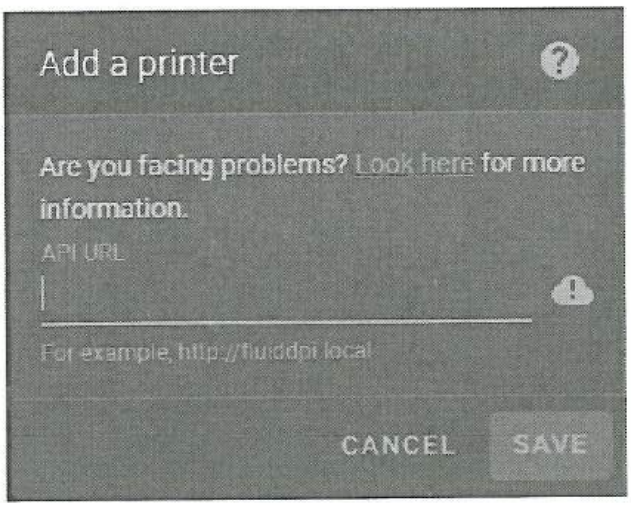


Рис. 2.45. Вікно вводу IP адреси принтера

Після додавання принтерів з'являється можливість керування всіма принтерами з одного веб-інтерфейсу, перемикаючись між ними.

Для зручності відправки файлів на друк в слайсері Cura є можливість бездротового підключення для передачі файлів. Для цього потрібно встановити розширення Moonraker Connection, перейти в налаштування принтерів в слайсері, обрати необхідний принтер та натиснути Connect Moonraker. З'явиться вікно для вводу IP адреси, що зображене на рисунку 2.46, куди необхідно ввести адресу конкретного принтера. [6]

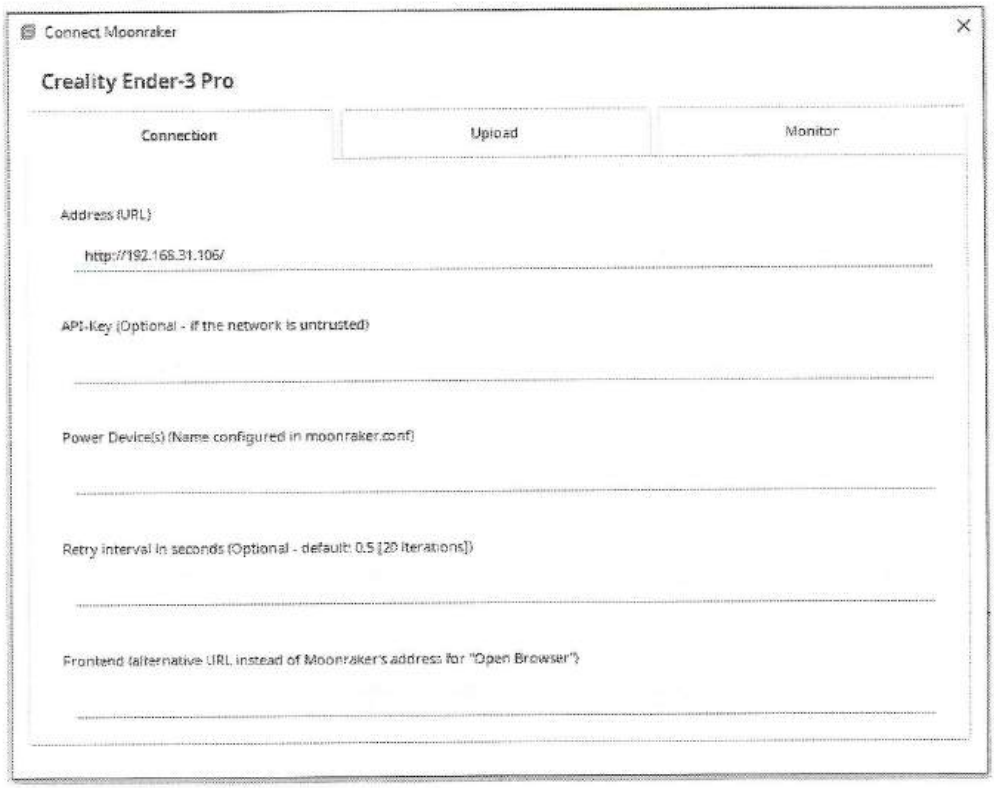


Рис. 2.46. Вікно підключення слайсеру до принтера

Ввівши IP адресу після нарізання файлу з'являється можливість його експортування по Wi-Fi (Рис. 2.47)

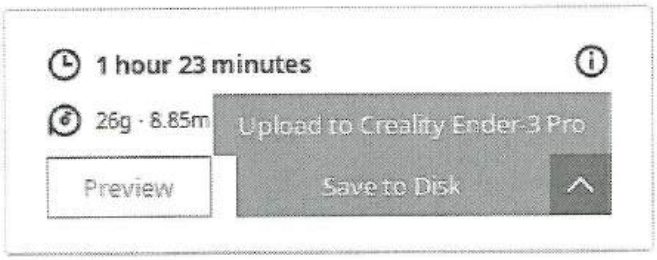


Рис. 2.47 Експортування файлів на принтер по Wi-Fi

3. ОЦІНКА ВПЛИВУ ЛОКАЛЬНОЇ МЕРЕЖІ НА ВИРОБНИЦТВО

3.1 Аналіз змін у якості та швидкості виробництва після впровадження локальної мережі

Після встановлення та налаштування оновленої прошивки принтеру та додавання його в локальну мережу була надрукована модель кораблику для перевірки впливу підвищеної швидкості на якість друку (Рис. 3.1 та 3.2). Для цього були встановлені параметри швидкості 150мм/с та прискорень 4000мм/с^2.

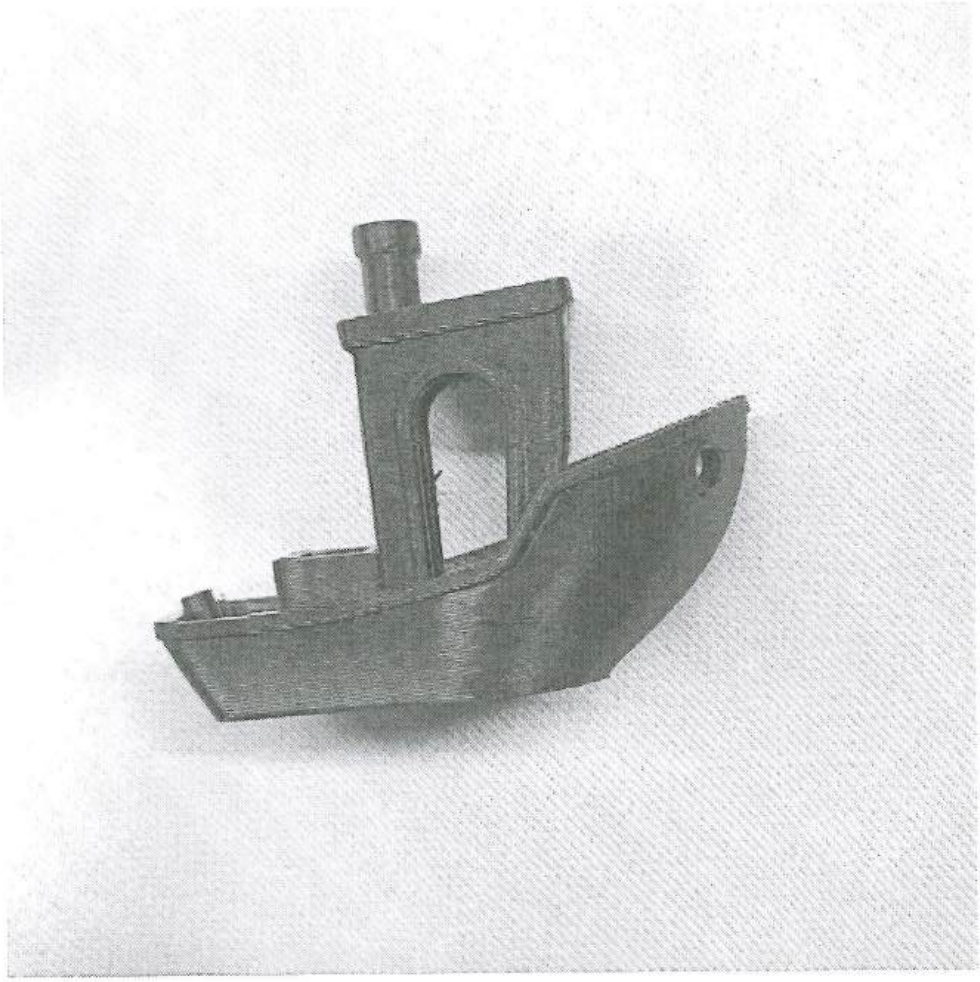


Рис. 3.1. Перевірочна модель, вигляд збоку

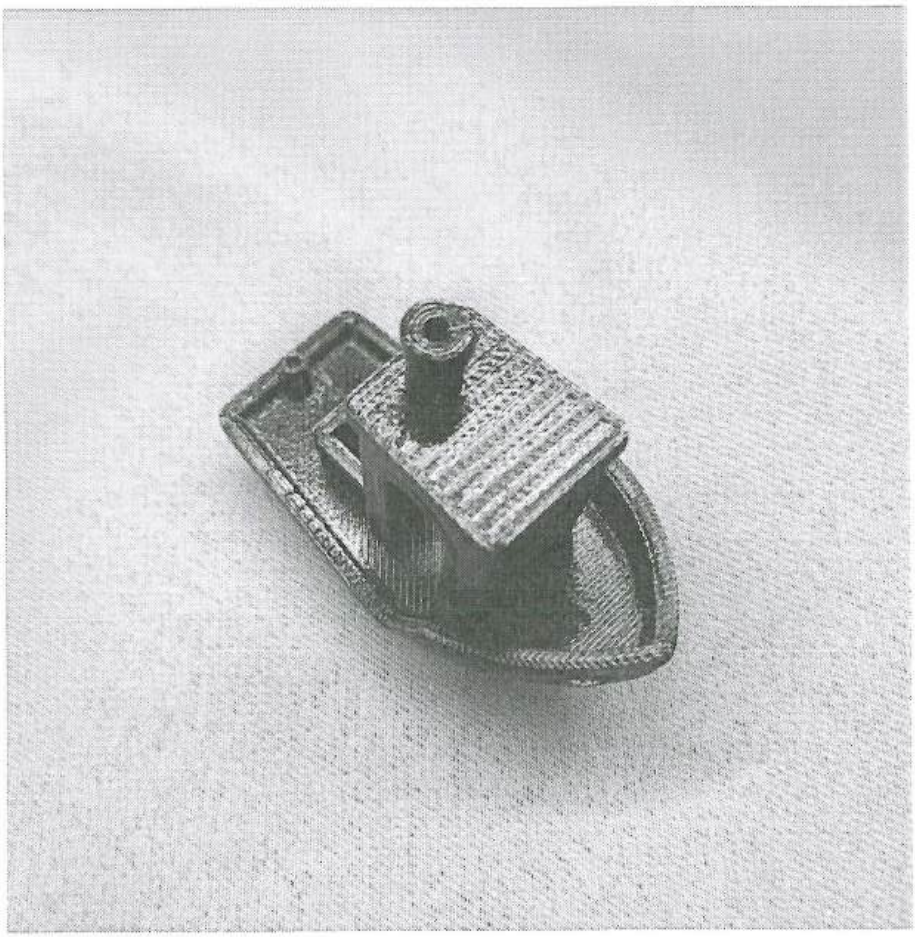


Рис. 3.2. Перевірочна модель, вигляд зверху

Під час візуального аналізу моделі було виявлено що при збільшенні швидкості більш ніж у два рази та прискорень у 8 разів якість друку залишається на достатньо високому рівні, відсутні дефекти друку, повторюваність геометрії на стінках моделі, глянсова поверхня свідчить про достатність температури для міцного спікання шарів, час друку зменшився з 1 години 30 хв до 1 години, що свідчить про скорочення часу друку в 1.5 рази.

Варто зазначити, що час друку залежить також від складності геометрії моделі.

Для другого етапу перевірки була обрана модель вази висотою 24см в 1 стінку товщиною 0.4мм. При підготовці моделі з параметрами до модернізації час друку становить 4 години (Рис. 3.3).

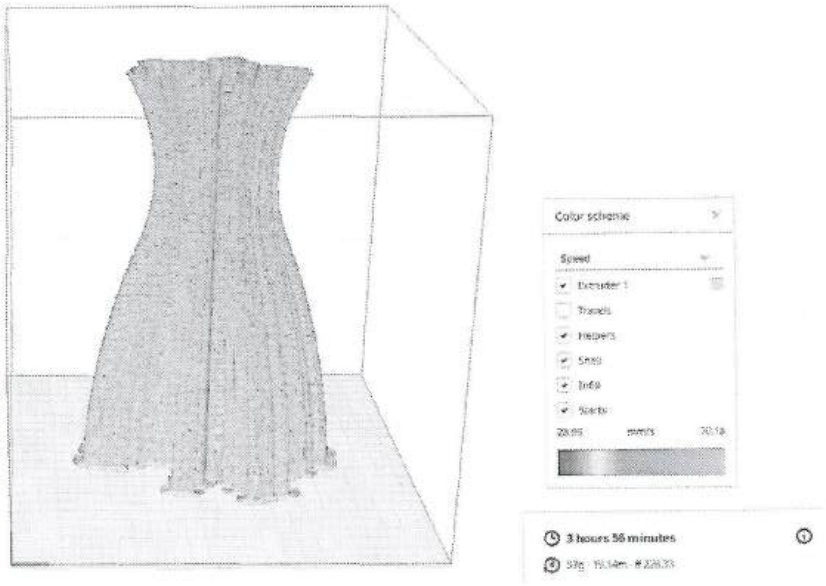


Рис. 3.3. Час друку вази з параметрами до модернізації

З параметрами друку після модернізації час друку становить 2 години 30 хвилин, що свідчить про скорочення часу друку у 1.6 разів, що є суттєвим покращенням продуктивності виробництва, яке використовує доступні 3D принтери (Рис. 3.4).

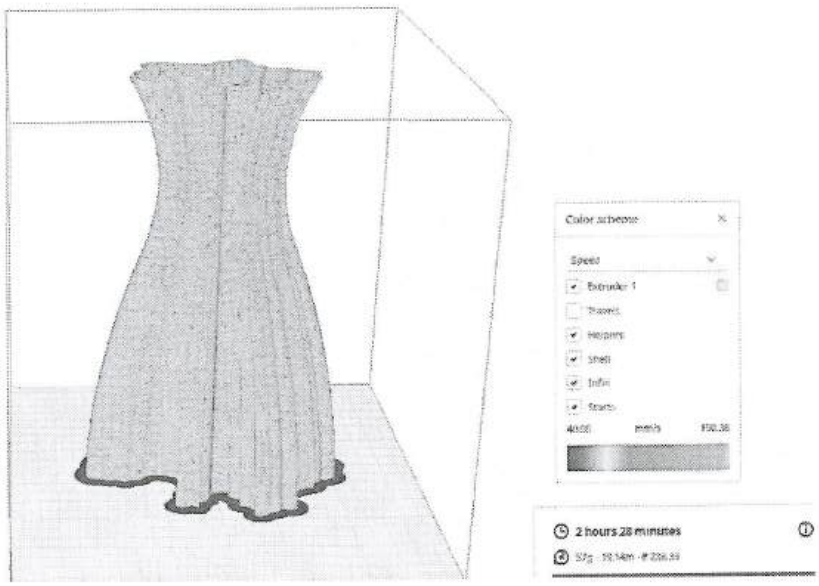


Рис. 3.4. Час друку вази після модернізації

3.2 Оцінка результатів та виявлення позитивних аспектів впровадження локальної мережі в виробництво за технологією 3D друку

Модернізація виробництва з впровадженням технології 3D друку, що призвела до значного підвищення швидкості друку з 70мм/с до 150мм/с та скорочення часу друку у 1.5 рази, має величезний потенціал для підприємства. Збільшення швидкості друку дозволяє ефективніше виробляти деталі та продукцію, що, в свою чергу, призводить до підвищення загальної продуктивності.

Швидший обіг виробничих процесів може прискорити виготовлення прототипів, виробництво запасних частин та навіть завершення великих проектів.Зменшення часу друку у 1.5 рази сприяє оптимізації робочого часу та ресурсів. Це важливо не лише з точки зору підвищення продуктивності, але й з погляду ефективного використання енергії та матеріалів.

Такі покращення можуть суттєво знизити витрати на виробництво та зробити підприємство більш конкурентоспроможним на ринку.В цілому, результати модернізації виробництва 3D друку вказують на високий потенціал для підвищення продуктивності, оптимізації витрат та посилення позицій підприємства в індустріальному середовищі.

ВИСНОВКИ

У рамках проведеного дослідження був проведений аналіз сучасного стану виробництва за технологією 3D-друку. Було детально вивчено наявне обладнання, його технічні характеристики та ефективність виробничого процесу. Виявлено, що існує потреба у покращенні швидкості роботи обладнання для оптимізації виробничих процесів та збільшення продуктивності підприємства.

З метою вирішення цієї проблеми, була розроблена та впроваджена локальна мережа 3D-принтерів, спрямована на покращення якості та швидкості друку. Модернізація обладнання та впровадження нової мережевої інфраструктури сприятиме ефективнішому використанню ресурсів та підвищенню швидкості виробництва.

Оцінка впливу модернізації 3D-принтерів на продуктивність підприємства показала позитивні результати. Зменшення часу друку у 1.5 разів призвело до значного покращення ефективності виробничого процесу. Швидша обробка замовлень, зниження витрат на виробництво та підвищення загальної продуктивності стануть ключовими перевагами в результаті впроваджених змін.

Зазначені удосконалення позитивно вплинуть на конкурентоспроможність підприємства на ринку. Приділення уваги інноваційним технологіям та вдосконалення виробничих процесів допоможе забезпечити стабільний розвиток та успішну консолідацію на ринку.

Загалом, отримані результати дозволяють зробити висновок, що модернізація виробництва за допомогою технології 3D-друку та покращенням швидкості роботи обладнання є доцільним та перспективним кроком для підприємства.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. 3D Printing Farm: 5 Great Showcases in 2023. URL: https://all3dp.com/2/3d-printing-farm-great-showcases/ (дата звернення: 04.11.2023).

2. 3D Printing Near Me: How to Find a Service Easily. All3DP. URL: https://all3dp.com/2/3d-printing-service-near-me/ (дата звернення: 06.11.2023).

3. Klipper Remote Access - Safe and Secure | Obico Knowledge Base. Home. URL: https://www.obico.io/blog/klipper-remote-access/ (дата звернення: 06.11.2023).

4. Ana Sayfa DergiPark. URL: https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/2512085 (дата звернення: 06.11.2023)

5. BIGTREETECH Makes 3D Printing within Reach | Official Website. bigtree-tech. URL: https://bigtree-tech.com/ (дата звернення: 10.11.2023).

6. UltiMaker Cura. UltiMaker. URL: https://ultimaker.com/software/ultimaker-cura/ (дата звернення: 15.11.2023).

7. FAQ - Repetier-Server. Repetier-Server. URL: https://www.repetier-server.com/faq/ (дата звернення: 16.11.2023).

8. FAQ. OctoPrint Community Forum. URL: https://community.octoprint.org/c/support/faq/14 (дата звернення: 16.11.2023).

9. Raspberry Pi Documentation. Raspberry Pi. URL: https://www.raspberrypi.com/documentation/ (дата звернення: 16.11.2023).

10. Orange Pi - Orange Pi official website - Orange Pi development board, open source hardware, open source software, open source chip, computer keyboard. Orange Pi - Orange Pi official website - Orange Pi development board, open source hardware, open source software, open source chip, computer keyboard. URL: http://www.orangepi.org/index.html (дата звернення: 17.11.2023).

11. Debian GNU/Linux Installation Guide. Debian -- The Universal Operating System. URL: https://www.debian.org/releases/bullseye/amd64/ (дата звернення: 18.11.2023).

12. Installation - Klipper documentation. Welcome - Klipper documentation. URL: https://www.klipper3d.org/Installation.html (дата звернення: 20.11.2023).

13. Configuration reference - Klipper documentation. Welcome - Klipper documentation. URL: https://www.klipper3d.org/Config_Reference.html (дата звернення: 25.11.2023)

14. GitHub: Let's build from here · GitHub. URL: https://github.com/fatofthelan/Ender3KlipperConfig/blob/main/printer.cfg (дата звернення: 29.11.2023).

15. G-Codes - Klipper documentation. Welcome - Klipper documentation. URL: https://www.klipper3d.org/G-Codes.html (дата звернення: 30.11.2023).

16. Klipper PID Tuning - How to Guide | Obico Knowledge Base. Home. URL: https://www.obico.io/blog/klipper-pid-tuning/ (дата звернення: 01.12.2023).

17. Pressure advance - Klipper documentation. Welcome - Klipper documentation. URL: https://www.klipper3d.org/Pressure_Advance.html (дата звернення: 02.12.2023).

18. Measuring Resonances - Klipper documentation. Welcome - Klipper documentation. URL: https://www.klipper3d.org/Measuring_Resonances.html (дата звернення: 05.12.2023).

ДЕМОНСТРАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Доповідь по магістерській роботі на тему:

РОЗРОБКА ЛОКАЛЬНОЇ МЕРЕЖІ ПІДПРИЄМСТВА З 3D ДРУКУ ДЛЯ ПОКРАЩЕННЯ ЯКОСТІ ТА ШВИДКОСТІ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ



Виконав: студент 6 курсу, групи АРДМ-62 Кирсенко Андрій

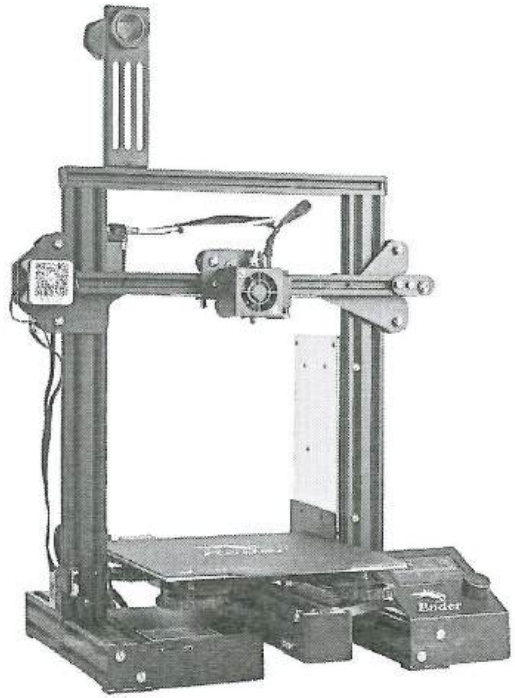
Актуальність – З кожним роком 3D друк відіграє все більшу роль у житті людства в таких галузях як: архітектура, будівництво, малосерійне виробництво медицина, оборонна промисловість та в багатьох інших. Одними з головних умов 3D друку в підприємницькій діяльності є дешевизна, продуктивність та масштабованість, але більшість доступних на сучасному ринку 3D принтерів не відрізняються високою швидкістю та якістю друку з заводу, а також їх неможливо об'єднати між собою для більшої автоматизації виробничих процесів

Об'єкт дослідження – Збільшення швидкості та якості виробничих процесів за рахунок впровадження локальної мережі 3D принтерів на виробництві.

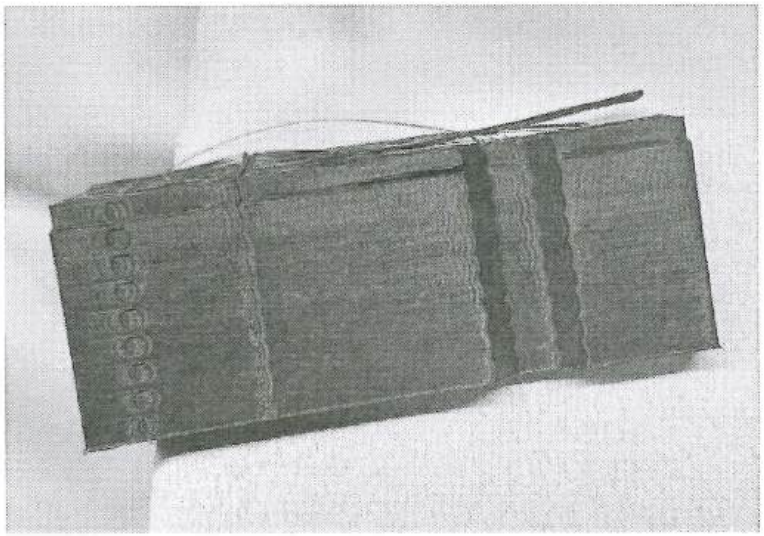
Предмет дослідження – методи збільшення продуктивності виробництва без погіршення якості продукції та автоматизація виробництва.

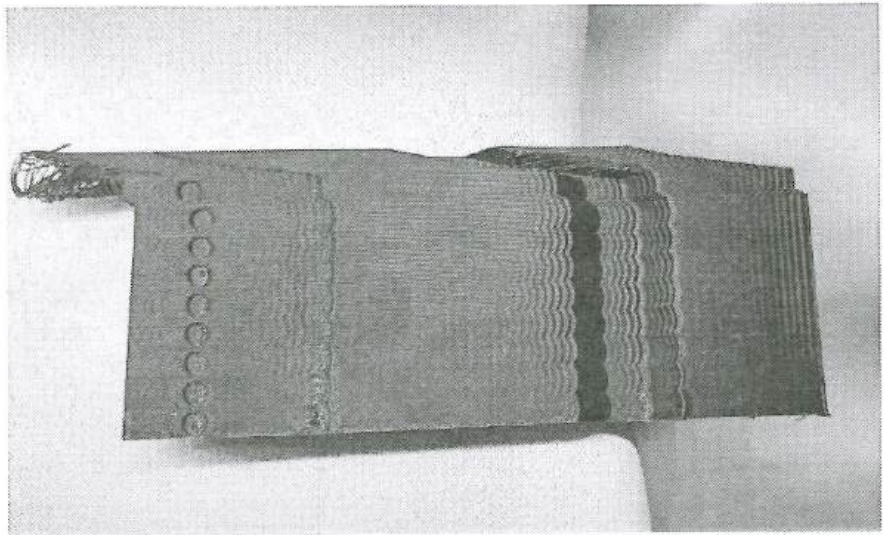
Мета роботи – Масштабування та автоматизація виробництва, покращення якості та швидкості 3D друку за допомогою доступних та економічних 3D принтерів.

Бюджетний 3D принтер Ender 3 Pro, що використовується на виробництві у великій кількості

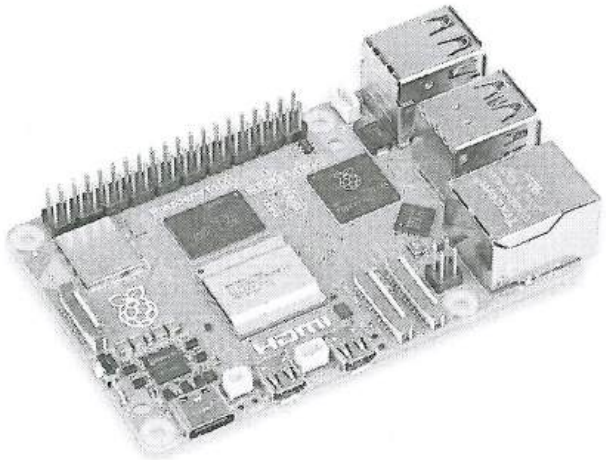


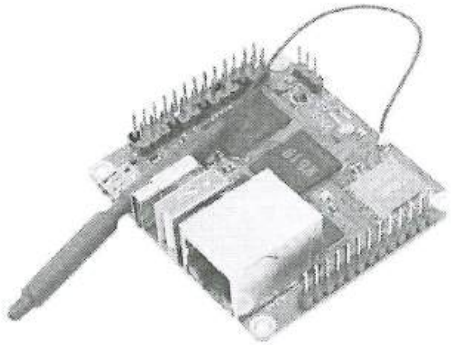
Виявлені проблеми якості друку при збільшенні швидкості із заводським програмним забезпеченням

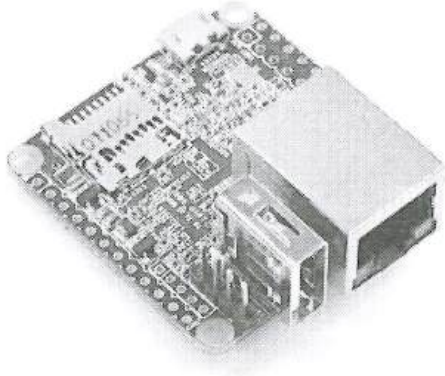




Варіації одноплатних комп'ютерів для встановлення програмного забезпечення мережі





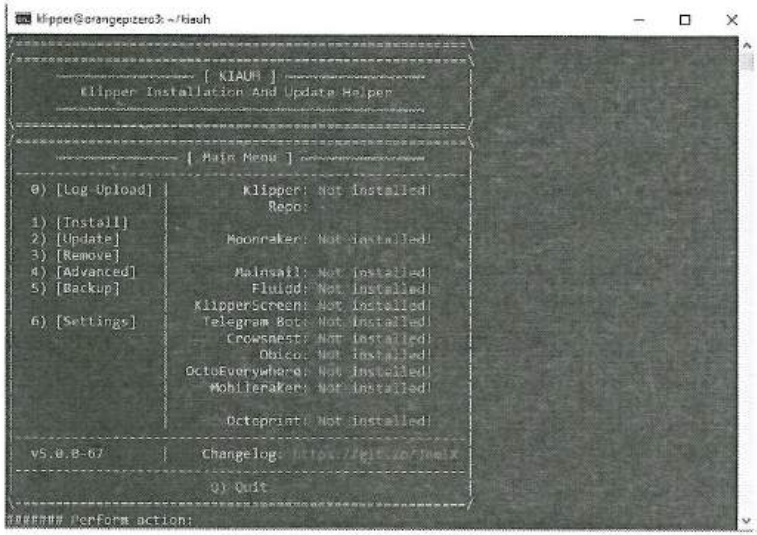


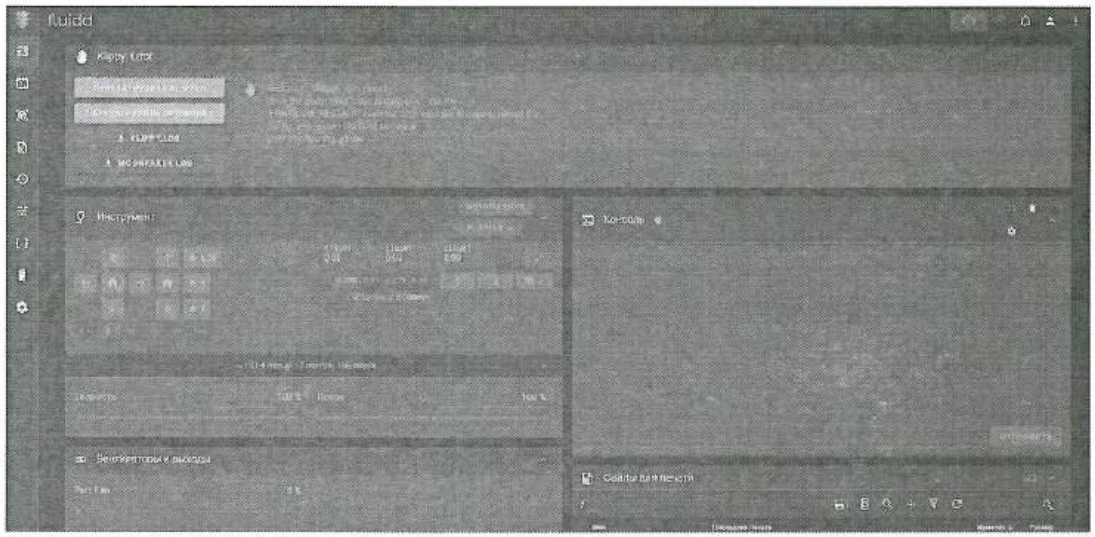
Встановлення операційної системи Linux як основи серверів мережі та підключення їх до Wi-Fi мережі підприємства



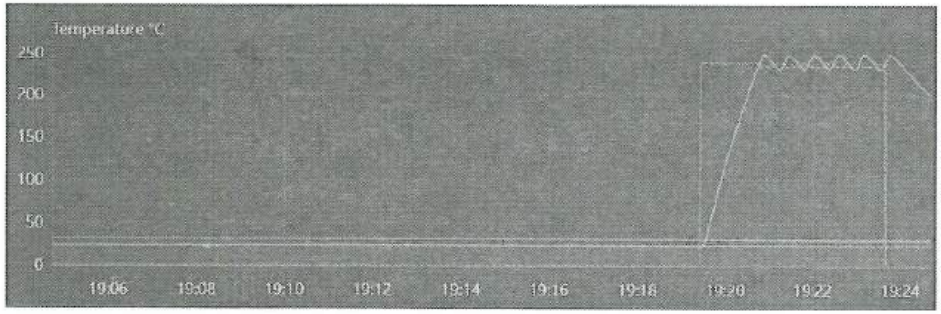


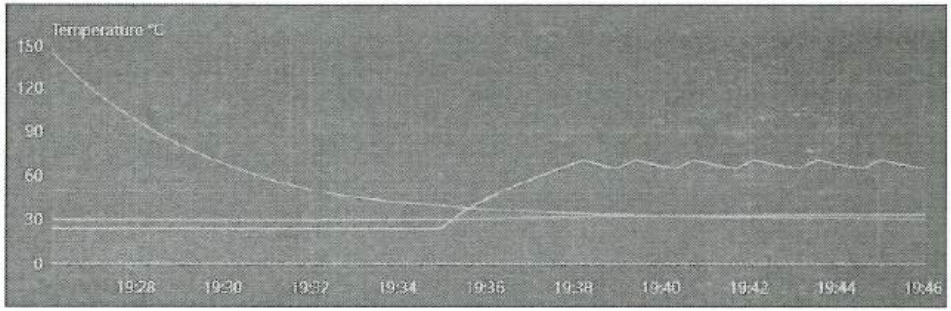
Встановлення прошивки 3D принтерів та веб-інтерфейсу на одноплатний комп’ютер



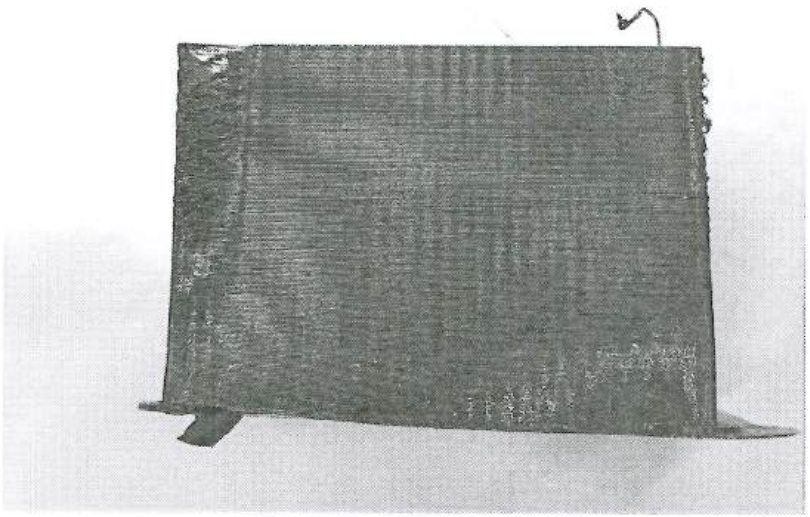


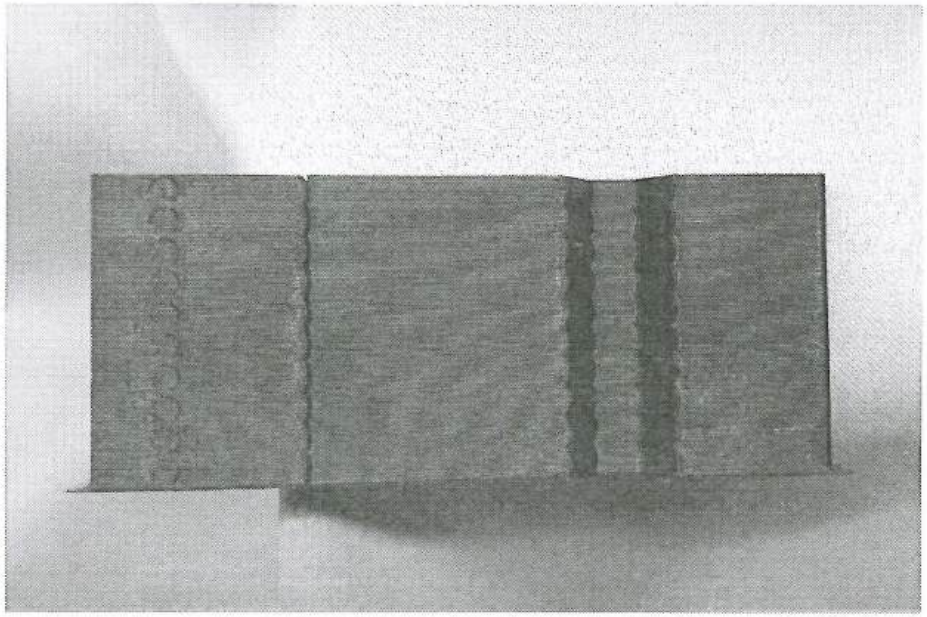
Калібрування температури сопла та столу принтера



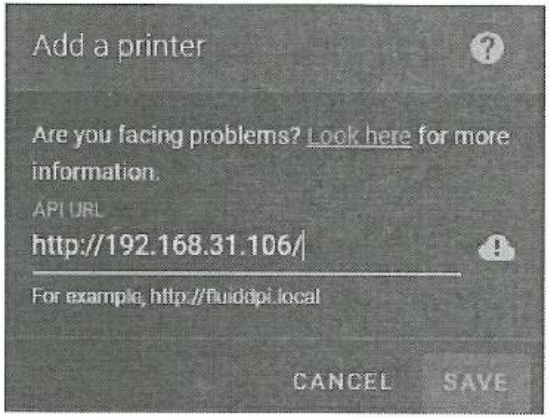


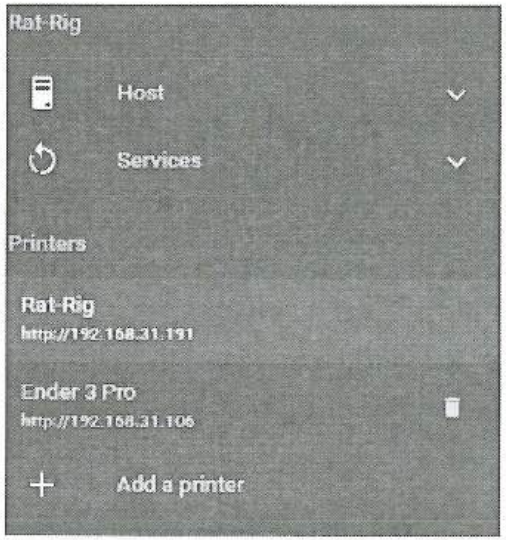
Калібрування параметрів для покращення якості друку зі збільшеною швидкістю





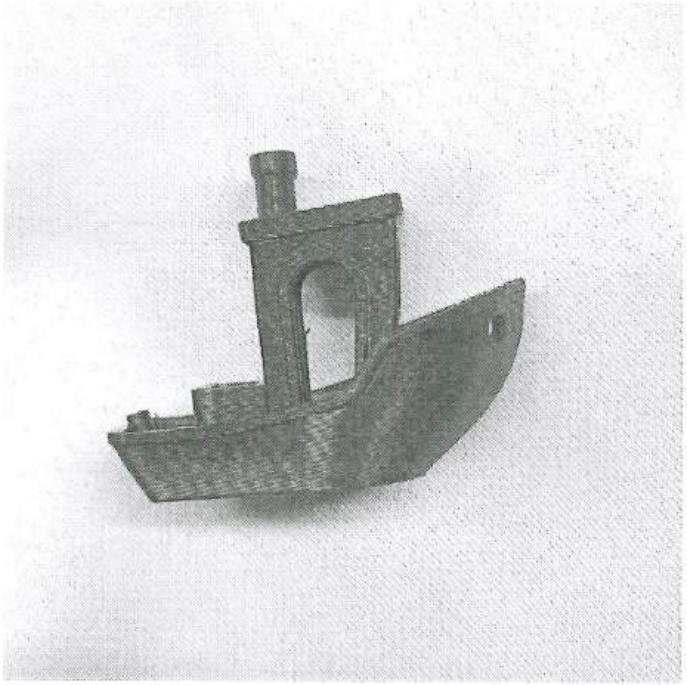
Об’єднання декількох принтерів в мережу з можливістю керування через один веб-інтерфейс

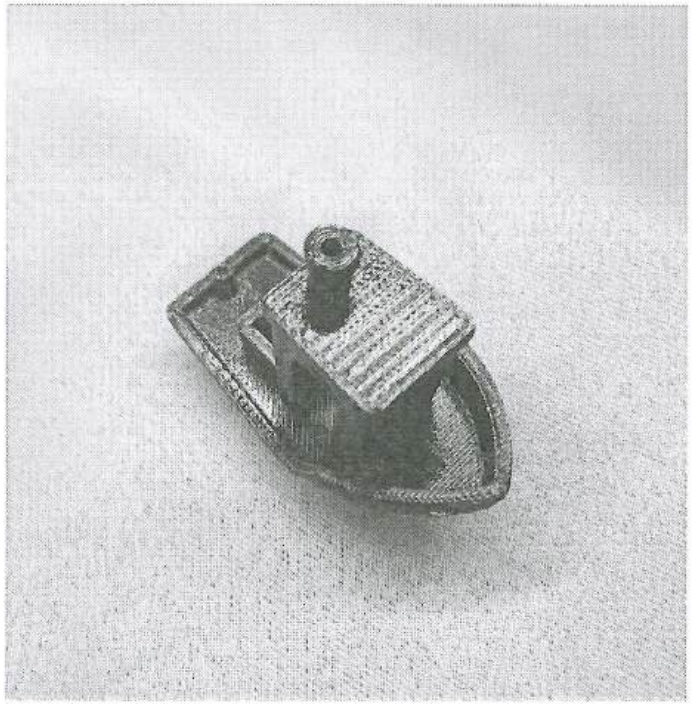






Оцінка якості та швидкості друку після впровадження мережі





Висновки

В ході роботи було виявлено слабкі місця бюджетних 3D притерів, додано можливість швидкого та зручного керування великою кількістю притерів на підприємстві за допомогою локальної мережі та завдяки її впровадженню збільшено швидкість друку у 1.5 разів мінімум зі збереженням високої якості друку.

Модернізація обладнання та впровадження нової мережевої інфраструктури сприятиме ефективнішому використанню ресурсів та підвищенню швидкості виробництва.

Зазначені удосконалення позитивно вплинуть на конкурентоспроможність підприємства на ринку. Приділення уваги інноваційним технологіям та вдосконалення виробничих процесів допоможе забезпечити стабільний розвиток та успішну консолідацію на ринку.

Апробація результатів магістерської роботи

Основні результати магістерської роботи доповідалися на Науково-технічній конференції «Технологічні горизонти: дослідження та застосування інформаційних технологій для технологічного прогресу України і Світу», Київ: ДУІКТ, 28 листопада 2023 року.