

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання практичних робіт
з навчальної дисципліни
«Адитивні технології та дизайн»

для студентів денної та заочної форми навчання
за спеціальністю «Матеріалознавство»

Затверджено
редакційно-видавничою
радою університету,
протокол № 1 від 19.02.2026 р.

Харків
НТУ «ХП»
2026

Методичні вказівки до виконання практичних робіт з навчальної дисципліни «Адитивні технології та дизайн» для студентів денної та заочної форми навчання за спеціальністю «Матеріалознавство» / уклад.: С. О. Губський, О. В. Бурлуцький, І. В. Касьяненко, В. Ю. Ткачов, Г. П. Ходирєв. – Харків : НТУ «ХПІ», 2026. – 52 с.

Укладачі: С. О. Губський
О. В. Бурлуцький
І. В. Касьяненко
В. Ю. Ткачов
Г. П. Ходирєв

Рецензент О. А. Юрченко

Кафедра комп'ютерного моделювання та інтегрованих технологій обробки тиском

Вступ

Методичні вказівки призначені для студентів освітньої програми «Прикладне матеріалознавство та новітні технології» (денної та заочної форми навчання) і допоможуть їм оволодіти сучасними знаннями та практичними навичками з навчальної дисципліни «Адитивні технології та дизайн». У роботі надані практичні рекомендації щодо проєктування виробів для адитивного виробництва, а також детальні алгоритми підготовки цифрових моделей до друку. Окрему увагу приділено автоматизованому процесу слайсингу, налаштуванню параметрів друку та вибору оптимальних стратегій виготовлення деталей залежно від їх функціонального призначення.

Дані методики студенти будуть використовувати при виконанні циклу лабораторних та практичних робіт з курсу «Адитивні технології та дизайн», що охоплюють етапи від створення тривимірної моделі до отримання готового фізичного прототипу. Метою методичних вказівок є надання студентам систематизованої інформації щодо методик інженерного дизайну, оптимізації геометрії виробів та керування процесами 3D-друку для забезпечення високої якості та точності адитивної продукції.

Практична робота 1 PrusaSlicer: налаштування, основи роботи

Мета: Оволодіти навиками початкового налаштування середовища слайсера PrusaSlicer та підготувати файл для 3D-друку за початковими налаштуваннями.

PrusaSlicer – безкоштовний слайсер від компанії Prusa Research для підготовки цифрових 3D-моделей до 3D-друку.

Для роботи з PrusaSlicer необов'язково володіти 3D-принтером від компанії Prusa Research. PrusaSlicer включає профілі друку для обладнання від багатьох виробників 3D-принтерів і витратних матеріалів.

PrusaSlicer можна завантажити в розділі Software сайту розробника [1]. Після встановлення та першого запуску програми необхідно створити профіль принтера, для цього необхідно обрати необхідний 3D-принтер та матеріали, з якими буде виконуватися робота – рис. 1.1.

Також доступ до Майстра конфігурації є через вкладку головного меню Конфігурація.

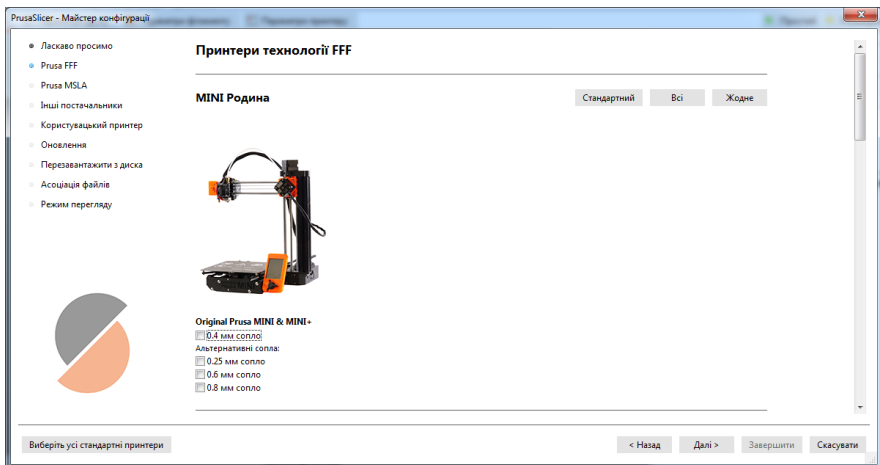


Рисунок 1.1 – Вибір 3D-принтера та матеріала, з якими буде виконуватися робота при першому запуску програми PrusaSlicer

В разі відсутності в бібліотеці стандартних принтерів можливо задати конфігурацію самостійно у вікні Майстер конфігурації підменю Користувачський принтер. При цьому необхідно буде задати тип прошивки керуючої плати – рис. 1.2.

- Ласкаво просимо
- Prusa FFF
- Prusa MSLA
- Інші постачальники
- Користувачський принтер
 - Прошивка
 - Форма столу
 - Діаметри друку
 - Температури
 - Оновлення
 - Перезавантажити з диска
 - Асоціація файлів
 - Режим перегляду

Тип прошивки

Виберіть тип прошивки, що використовуються вашим принтером.

Деякі команди G/M-коду, включаючи контроль температури та інші, не є універсальними. Встановіть для цього параметра мікропрограму принтера, щоб отримати сумісний вихід. Наявність вибору "Без екструзії" захищає PrusaSlicer від експорту взагалі будь-яких екструзійних значень.

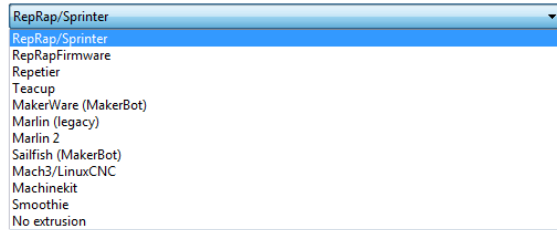


Рисунок 1.2 – Вибір типу прошивки керуючої плати 3D-принтера при заданні параметрів користувачького принтера

У підменю Форма столу необхідно задати форму та розмір столу користувачького 3D-принтеру – рис. 1.3.

Форма та розмір столу

Встановіть форму столу свого принтеру.

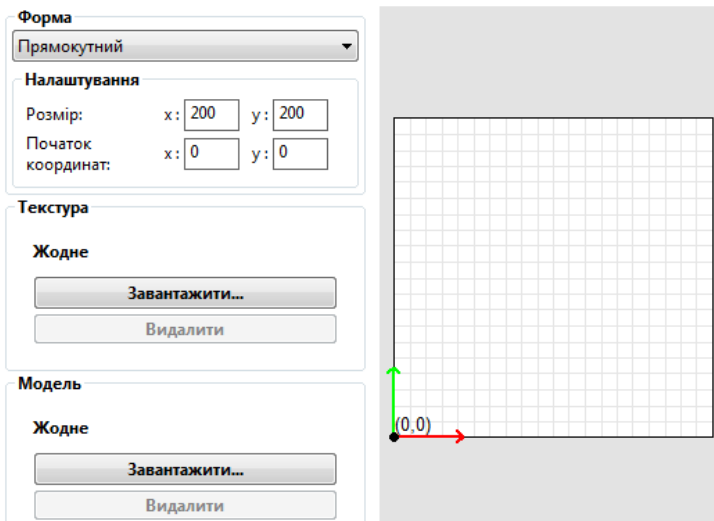


Рисунок 1.3 – Задання форму та розміру столу користувачького 3D-принтеру

У підменю:

- Діаметри друку потрібно задати діаметри сопла та філаменту;
- Температури потрібно задати температуру екструзії філаменту та температуру столу.

Пункти меню:

- Оновлення відповідає про перевірку оновлення та автоматичне їх встановлення;
- Перевантажити з диска експортування повних назв шляхів джерел моделей з частин у файли з розширенням 3MF, AMF;
- Асоціація файлів – при активації відповідної опції буде відкриватися файли з розширенням 3MF та AMF в слайсері PrusaSlicer;
- Режим перегляду складається з вибору трьох режимів користувацького інтерфейсу (простий, розширений, експертний).

Закінчення налаштування профілю принтера – клавіша Завершити (рис. 1.1).

Після завершення роботи помічника вибрані принтери та матеріали будуть доступні в головному меню.

Більшість вікна програми займає область попереднього перегляду (вид робочого столу 3D-принтера) з декількома панелями інструментів керування моделлю. Щоб імпортувати 3D-модель у слайсер, необхідно натиснути значок додавання на верхній панелі інструментів і додати модель на робочий стіл (файли з розширенням *.stl) – рис. 1.4.

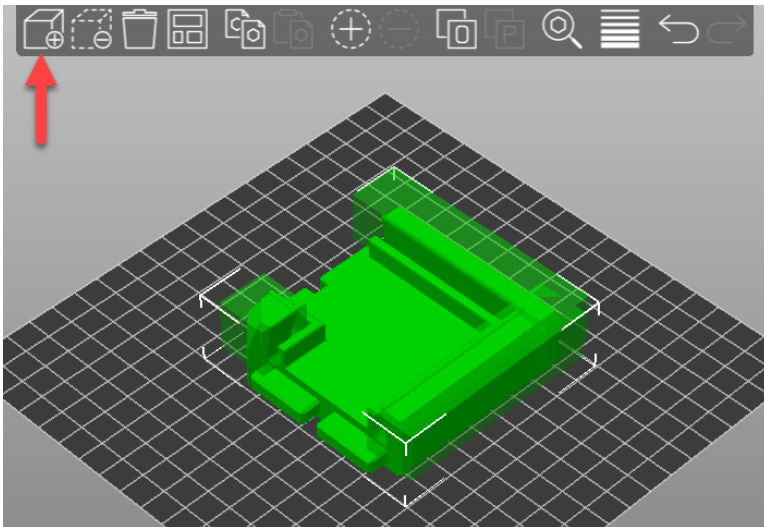


Рисунок 1.4 – Додавання 3D-моделі на робочий стіл

Верхня панель керування (рис. 1.4) дозволяє робити такі дії з 3D-моделю:

- додавання моделі;
- видалення виділеної моделі;
- очищення столу (видалення всіх об'єктів);
- автоматичне вирівнювання всіх деталей на столі;
- копіювати та вставляти деталі;
- збільшувати та зменшувати кількості екземплярів (доступні у розширеному та експортному режимах);
- викликати помічника по адаптивним шарам;
- назад та вперед (скасування дії, повернення дії).

Зліва від робочого столу розміщена Ліва панель керування – рис. 1.5.

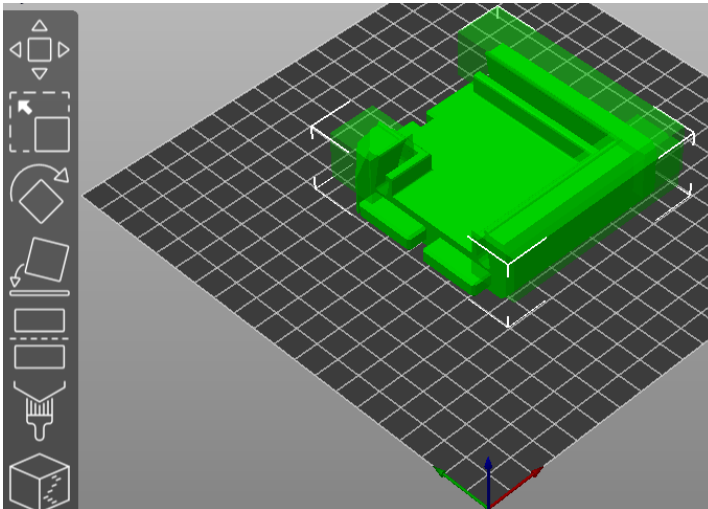


Рисунок 1.5 – Розміщення Лівої панелі керування

Ліва панель керування дає можливість масштабувати та повертати моделі, покласти поверхнею на стіл (автоматично визначає площини на моделі, які можна розгорнути паралельно до площини столу), розрізати горизонтальною площиною (дозволяє розрізати модель на частини, що окремо друкуються), вибудовувати підтримки моделей у ручному режимі (доступна у просунутому та експортному режимах), дозволяє налаштовувати розташування шва при 3D-друку (останні дві кнопки у просунутому та експортному режимах).

Режими (простий, розширений, експертний) знаходяться зверху над Права панель – рис. 1.6.

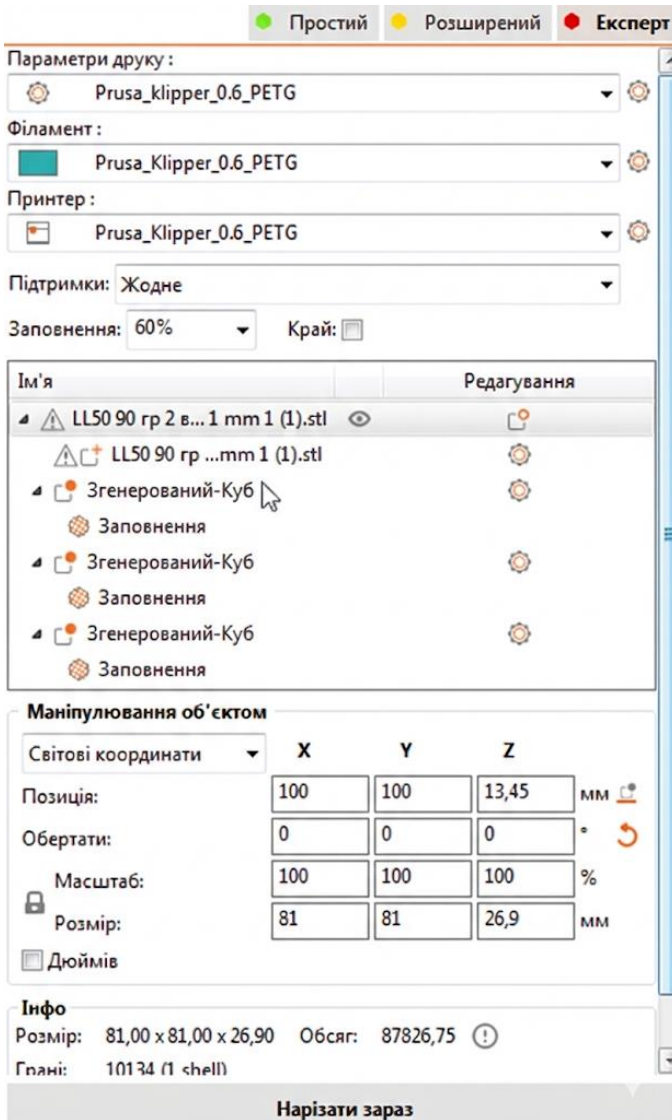


Рисунок 1.6 – Режими та Права панель керування

Права панель керування складається параметрів 3D-принтера, пластику та 3D-друку. Налаштування за замовчуванням можна змінити, натиснувши на значок шестерні праворуч від пунктів меню.

Також можна виставити параметри підтримки та щільність заповнення моделі, увімкнути або вимкнути обведення краю деталі та зробити маніпуляції з моделлю: повернути, масштабувати тощо. У нижній частині панелі знаходиться кнопка попереднього перегляду: при натисканні програма автоматично наріже модель із параметрами для експорту, наприклад, у файл з розширенням *.gcode.

Налаштування параметрів друку необхідно проводити вкладки параметрів – рис. 1.7. Налаштування розподілені за трьома групами: Параметри друку, Параметри філаменту та Параметри принтеру. Кожна група знаходиться на окремій вкладці і має профіль, що зберігається, і розширений список змін для користувачів з різними рівнями досвіду.

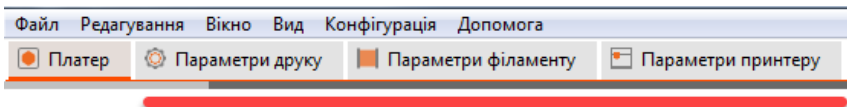


Рисунок 1.7 – Вкладки налаштування параметрів друку

Будь-який режим налаштування має кольорове кодування, що означає відносну складність. Ще одна зручність полягає в підказках, що з'являються при наведенні курсору на будь-який з параметрів.

Якщо змінити параметри за замовчуванням, параметр буде позначено як «змінений», а потім можна змінити змінений профіль. За потреби завжди можна повернутися до стандартної настройки, натиснувши на стрілку скасування поряд зі зміненою настройкою – рис. 1.8.

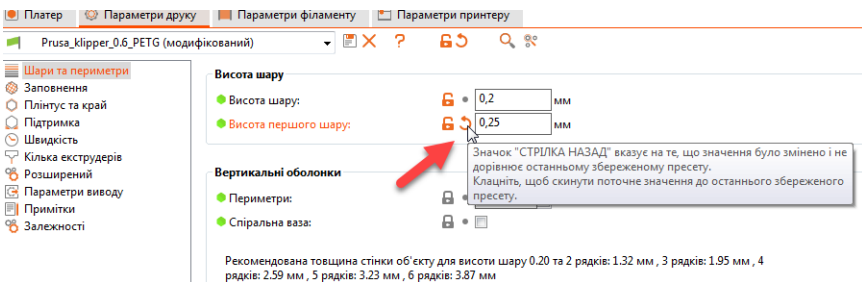


Рисунок 1.8 – Інформування про зміну параметрів

Щоб зберегти всі зміни в налаштуваннях, необхідно зберегти проект у файлі з розширенням *.3MF. Він міститиме всі скориговані профілі, моделі та налаштування 3D-друку.

На вкладці Параметри друку є кілька розділів, необхідних для налаштування 3D-друку. У експертному режимі доступні такі налаштування (рис. 1.9).

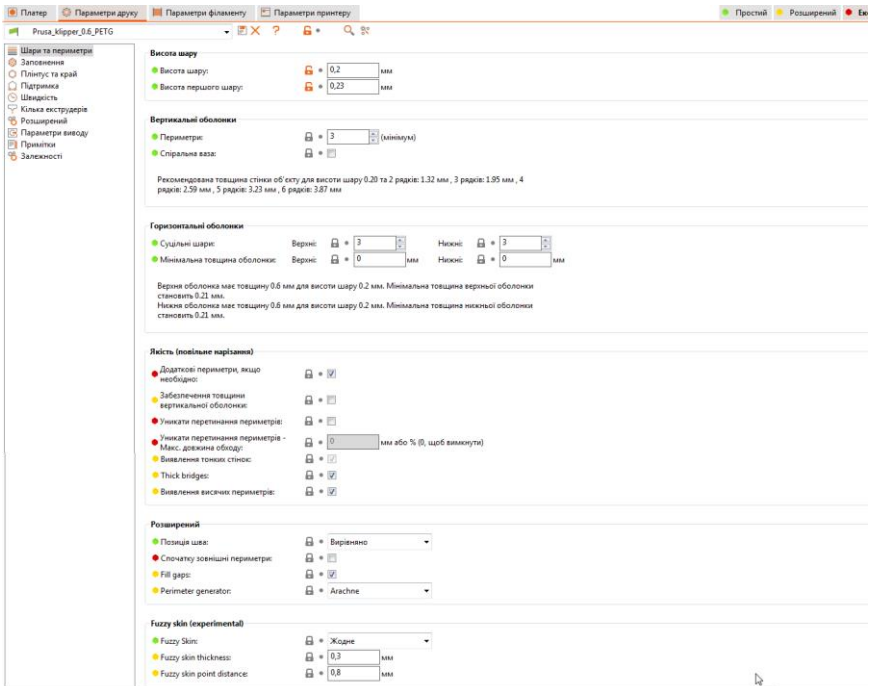


Рисунок 1.9 – Налаштування параметрів 3D-друку на вкладці Параметри друку

- Шари та периметри: ці параметри включають основні налаштування зовнішнього вигляду моделі та якості друку;
- Заповнення: все, що пов'язане із заповненням моделі та її міцністю;
- Плінтус та край: встановлення параметрів плінтуси та краю;
- Підтримка: налаштування параметрів підтримки та налаштування плоту;
- Швидкість: керування прискореннями та швидкостями при 3D-друку;
- Кілька екструдерів: налаштування друку для 3D-принтерів з кількома екструдерами;
- Розширений: налаштування ширини екструзії, потоку, перекриття та інші параметри.

На вкладці Параметри філаменту налаштовуються параметри, що залежать від філаменту (рис. 1.10): температури екструдера і платформи, параметри ретракту, налаштування обдуву. Також у цьому розділі можна вказати вартість котушки філаменту, і програма самостійно вирахуватиме приблизну вартість прутка, витраченого на 3D-друк.

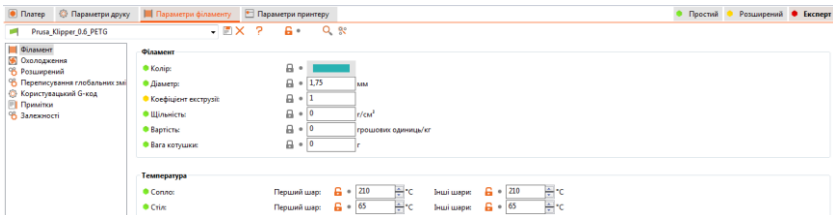


Рисунок 1.10 – Налаштування параметрів філаменту на вкладці Параметри філаменту

На вкладці Параметри принтеру налаштовуються параметри принтеру (рис. 1.11). Якщо при установці PrusaSlicer було вказано 3D-принтер у списку майстра налаштування, змінювати параметрів не потрібно. При додаванні 3D-принтера, який відсутній у базі даних PrusaSlicer, наприклад, саморобного, необхідно вказати параметри даного обладнання.

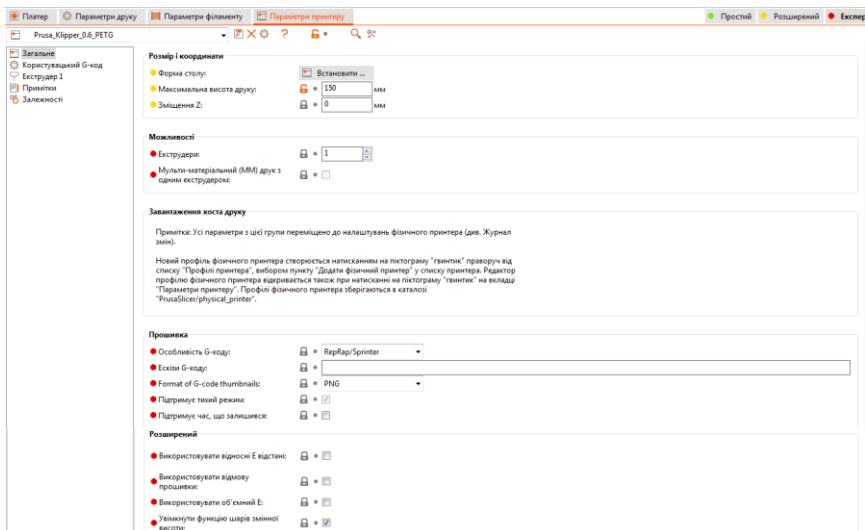


Рисунок 1.11 – Вкладка для налаштування параметрів принтеру (вкладка Параметри принтеру)

Також у вкладці Параметри принтеру можна налаштувати параметри, від яких залежатиме якість 3D-друку:

- довжина ретракту, що допомагає вирішувати низку проблем з якістю 3D-друку (параметр залежить від типу матеріалу та його властивостей);

- підйом Z: налаштування висоти сопла над моделлю при холостих переміщеннях;

- редагування G-коду користувача: розділ для професіоналів, який дозволяє редагувати G-код.

Завдання: Підготувати до друку в слайсері PrusaSlicer файл (з розширенням *.gcode) деталь куб (кожна сторона 50 мм) за параметрами вказаними в таблиці 1.1 (варіант обрати згідно списку). Всі інші параметри не вказані в таблиці 1.1 обрати довільно. Визначити довжину необхідного філаменту, об'єм необхідного філаменту, приблизний час друку?

Таблиця 1.1 – Варіанти завдань до практичної роботи 1

Варіант	Параметри			
	Висота шару для друку, мм	Щільність заповнення, %	Тип матеріалу для друку	Діаметр філаменту, мм
1	0,1	10	PET	1,75
2	0,15	15	PLA	2,85
3	0,2	20	ABS	1,75
4	0,22	25	ASA	2,85
5	0,25	30	FLEX	1,75
6	0,28	35	PVA	2,85
7	0,3	40	NYLON	1,75
8	0,32	45	HIPS	2,85
9	0,35	50	EDGE	1,75
10	0,38	55	NGEN	2,85
11	0,4	60	PA	1,75
12	0,42	65	PVA	2,85
13	0,45	70	PC	1,75
14	0,48	75	PP	2,85
15	0,5	80	PEI	1,75
16	0,55	85	PEEK	2,85
17	0,6	23	PEKK	1,75
18	0,65	33	POM	2,85
19	0,7	43	PSU	1,75
20	0,8	59	PVDF	2,85

Контрольні запитання

1. Назвіть слайсер від компанії Prusa Research?
2. Для яких 3D-принтерів призначений слайсер PrusaSlicer?

3. Де можна завантажити слайсер PrusaSlicer?
4. Назвіть основні етапи створення профілю принтера в слайсері PrusaSlicer?
5. Назвіть основні етапи створення профілю не стандартного (відсутнього в бібліотеці) принтера в слайсері PrusaSlicer?
6. Назвіть режими перегляду, налаштування 3D-друку слайсера PrusaSlicer?
7. Яке розширення файлів 3D-моделі потрібно додавати у слайсер PrusaSlicer?
8. Які дії в слайсері PrusaSlicer дозволяє робити з 3D-моделлю Верхня панель керування?
9. Які дії в слайсері PrusaSlicer дозволяє робити Ліва панель керування?
10. Які дії в слайсері PrusaSlicer дозволяє робити Права панель керування?
11. Яким чином позначається змінений параметр за замовчуванням в слайсері PrusaSlicer?
12. З яким файловим розширенням зберігається проєкт в слайсері PrusaSlicer?
13. Назвіть розділи та їх основне призначення на вкладці Параметри друку в слайсері PrusaSlicer?
14. Назвіть розділи та їх основне призначення на вкладці Параметри філаменту в слайсері PrusaSlicer?
15. Назвіть розділи та їх основне призначення на вкладці Параметри принтеру в слайсері PrusaSlicer?

Практична робота 2

Cura 3D: налаштування, основи роботи

Мета: Оволодіти навиками початкового налаштування середовища слайсера Cura 3D та підготувати файл для 3D-друку за початковими налаштуваннями.

Cura 3D – безкоштовний слайсер, з відкритим кодом від виробника 3D-принтерів Ultimaker, для підготовки цифрових 3D-моделей до 3D-друку.

Для роботи з Cura 3D обов'язково володіти 3D-принтером Ultimaker. Cura 3D включає профілі друку для обладнання від багатьох виробників 3D-принтерів і витратних матеріалів.

Cura 3D можна завантажити в розділі Software сайту розробника [2]. Після встановлення та першого запуску програми необхідно буде обрати принтер та дати йому назву – рис. 2.1. Якщо потрібного виробника принтера та його марки не вдалося знайти в бібліотеці стандартних 3D-принтерів, то потрібно створити профіль нового принтера самостійно та вказати всі необхідні параметри.

Add a printer

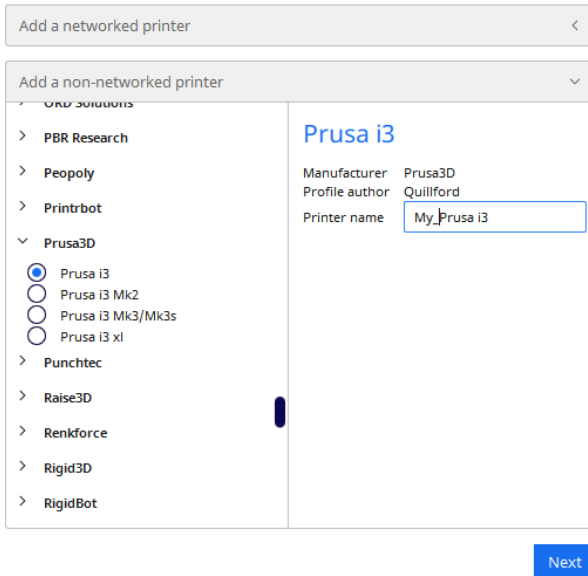



Рисунок 2.1 – Вікно вибору принтеру з бібліотеки стандартних 3D-принтерів

Для додавання моделі в Cura 3D необхідно обрати значок папки  зверху ліворуч, або вибрати File та Open File у верхньому меню. Потім необхідно обрати файл типу *.stl, *.obj або *.3MF на комп'ютері та Cura імпортує його в площину збирання.

Для зміни точки огляду області збирання та щоб отримати найбільш зручний вид моделі в Cura є можливість навігації по площині збирання – рис. 2.2

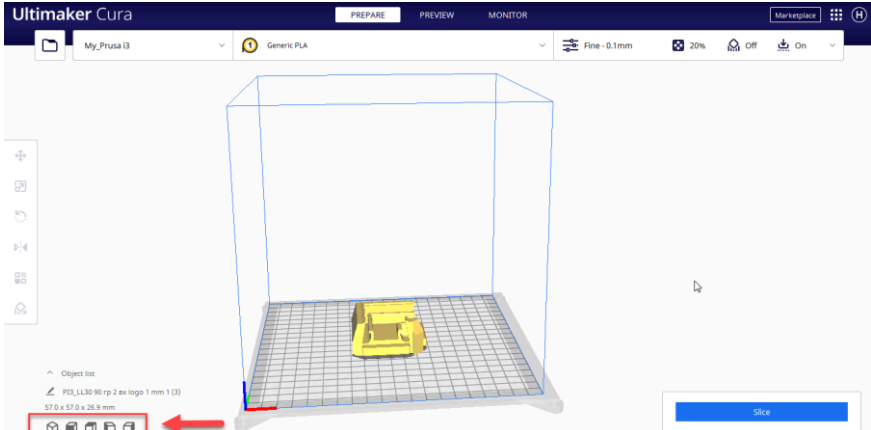


Рисунок 2.2 – Зміна точки огляду області збирання з імпортованою моделлю в Cura 3D

У програмі Cura є три основні способи перегляду моделі – перегляд в моделі, перегляд в рентгені, перегляд шарів – рис. 2.3.

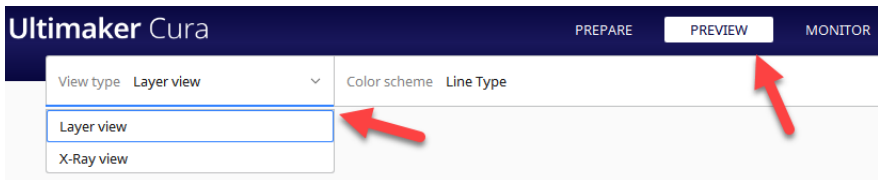


Рисунок 2.3 – Вибір способу перегляду моделі в Cura 3D

Переміщення, масштабування або обертання моделі в площині друку Cura здійснюється за допомогою меню – рис. 2.4.

Праворуч розміщена панель налаштувань Cura 3D – рис. 2.5. В ній потрібно задавати основні налаштування, щоб отримати бажану якість друку.

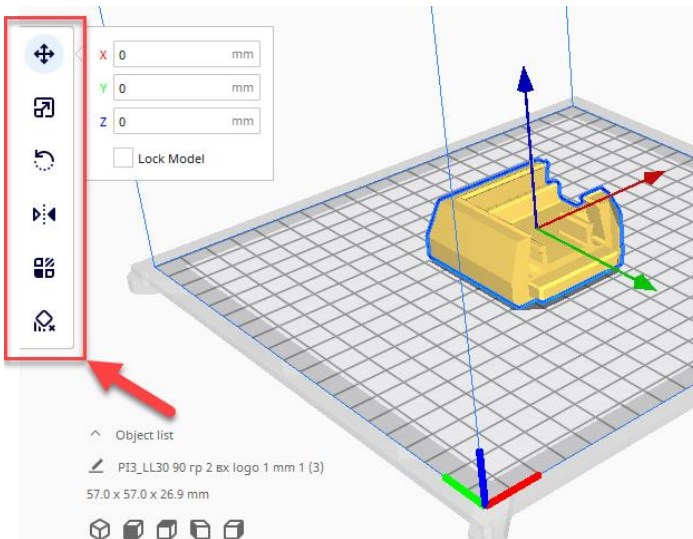


Рисунок 2.4 – Вибір способу перегляду моделі в Cura 3D

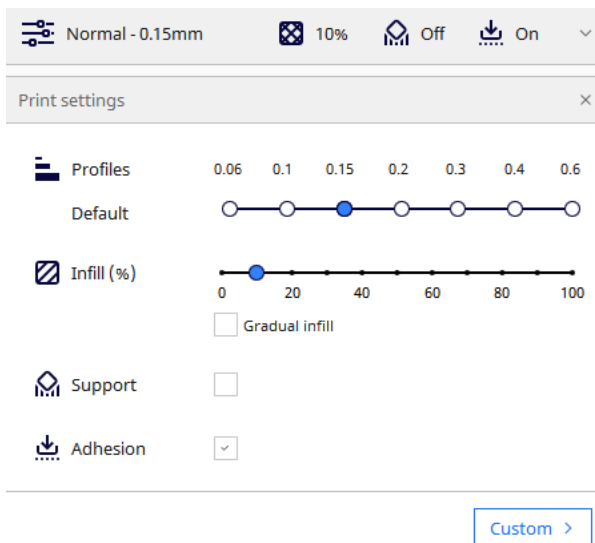


Рисунок 2.5 – Панель налаштувань якості друку та принтеру в Cura 3D

Рекомендовані налаштування:

- висота шару. 3D-принтери друкують об'єкт, завдаючи шар за шаром матеріалу. Повзунок Висота шару (Profiles) в Cura керує висотою кожного

окремого шару. Чим менше висота шару, то краще якість друку і навпаки. Але, налаштування низького значення для висоти шару призведе до того, що друк займе пропорційно більше часу. Потрібно знаходити компроміс між якістю та швидкістю друку та вибрати свій власний найкращий варіант;

- заповнення. Повзунок Заповнення (Infil) керує якістю заповнення. Встановлення його на 0 % означає, що не буде ніякого заповнення і об'єкт буде порожнім. Все, що знаходиться в діапазоні від 10 % до 40 % - легке заповнення. Діапазон від 50 % до 90% - середнє заповненням. Установка повзунка на 100 % створить суцільну модель;

- підтримка. Це налаштування підтримки та адгезії, які контролюються двома прапорцями Створити підтримку (Support) та Створити адгезію пластини (Adhesion). Якщо 3D-модель має великий контакт із платформою для друку, то рекомендується відключити прилипання робочої пластини. Якщо у моделі немає виступів, необхідно деактивувати параметр Створити підтримку (Support).

Після основних налаштувань моделі для 3D-друку необхідно її «нарізати», тобто створити файл G-кода – кнопка Slice в правому нижньому кутку вікна програми – рис. 2.2.

Далі необхідно експортувати файл з Cura на SD-карту або відправити його безпосередньо на принтер. Cura тепер оброблятиме всі перетворення 3D *.stl або *.obj у файл G-коду, необхідний для принтера. Також даний файл можна зберегти на комп'ютері.

Після проведення операції «нарізки» стане доступна: оцінка часу 3D-друку, що Cura дасть приблизну оцінку часу, який буде потрібний принтеру для друку виробу; передбачувана довжина та вага філаменту, що необхідний для друку деталі.

Завдання: Підготувати до друку в слайсері Cura 3D файл (з розширенням *.gcode) деталь куб (кожна сторона 80 мм) за параметрами вказаними в таблиці 2.1 (варіант обрати згідно списку). Всі інші параметри не вказані в таблиці 2.1 обрати довільно. Визначити довжину необхідного філаменту, вагу необхідного філаменту, приблизний час друку.

Таблиця 2.1 – Варіанти завдань до практичної роботи 2

Варіант	Параметри	
	Висота шару для друку, мм	Щільність заповнення, %
1	0,1	10
2	0,15	15
3	0,2	20
4	0,22	25

5	0,25	30
6	0,28	35
7	0,3	40
8	0,32	45
9	0,35	50
10	0,38	55
11	0,4	60
12	0,42	65
13	0,45	70
14	0,48	75
15	0,5	80
16	0,55	85
17	0,6	23
18	0,65	33
19	0,7	43
20	0,8	59

Контрольні запитання

1. Назвіть розробника слайсер Cura 3D?
2. Чи можливо використовувати слайсер Cura 3D для друку на 3D-принтерах різних виробників?
3. Назвіть основні етапи встановлення слайсер Cura 3D?
4. Які формати файлів можливо додавати для опрацювання в Cura 3D?
5. Навігація по моделі в Cura 3D?
6. Назвіть способи перегляду моделі в Cura 3D?
7. Яким чином здійснюється переміщення, масштабування або обертання моделі в площині друку в Cura 3D?
8. Охарактеризуйте панель налаштувань в Cura 3D?
9. Дайте основні принципи вибору висоти шару друку в Cura 3D?
10. Дайте основні принципи вибору заповнення при друці в Cura 3D?
11. Дайте основні принципи налаштування використання підтримок при друці в Cura 3D?
12. Дайте основні принципи налаштування використання адгезії при друці в Cura 3D?
13. З яким файловим розширенням зберігається проєкт в слайсері Cura 3D?
14. Яким чином в слайсері Cura 3D визначити час необхідний для друку моделі на 3D-принтері?

Практична робота 3 PrusaSlicer: налаштування заповнення

Мета: Оволодіти навиками налаштуванням в слайсері PrusaSlicer заповнення деталі для 3D-друку.

Налаштувати заповнення деталі в PrusaSlicer доступне на вкладці Параметри друку в пункті Заповнення (Infill) (параметри розглядаються в експертному режимі) – рис. 3.1.

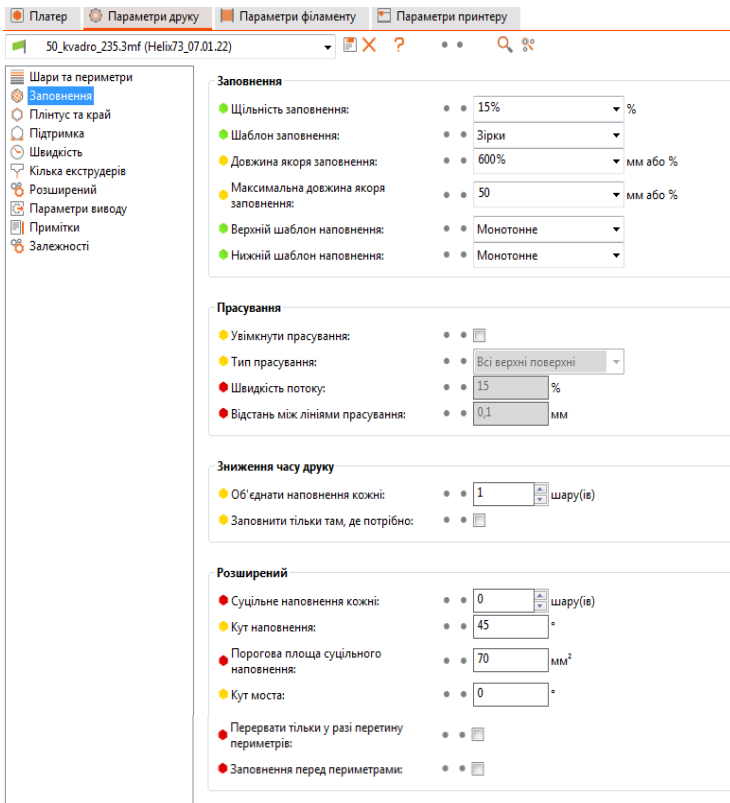


Рисунок 3.1 – Налаштувати заповнення деталі в PrusaSlicer

Основні параметри:

- Щільність заповнення, вказується щільність заповнення роздрукованої деталі. Чим більша щільність заповнення тим міцніша деталь,

але витрати матеріалу та час друку збільшаться. Не завжди потрібне заповнення більше 80 %, в більшості випадків щільність заповнення бажано обирати 10-60 %. Слід зазначити, що для міцності деталі краще збільшити товщину стінки деталі, чим збільшувати щільність заповнення;

- Шаблон заповнення, Верхній (нижній) шаблон заповнення, бажано вказувати на два останні параметри – Прямолінійний. Для художніх моделей рекомендується обирати також Прямолінійний шаблон заповнення з щільністю заповнення 10 %, для технічних деталей щільність заповнення збільшити до 30 %. Слід зазначити

- Зниження часу друку, якщо встановлена маленька товщина шару, то в параметрі Об'єднати наповнення кожні можливо встановити раз в скільки шарів буде друкуватися заповнення з кратною збільшеною товщиною. Це дозволить зменшити час друку, але більше 2 параметр Об'єднати наповнення кожні ставити не рекомендується;

- Суцільне наповнення кожні – визначає раз в скільки разів друкувати горизонтальну діафрагму зміцнення, що зміцнює деякі типи заповнення, але в більшості випадків не потрібне;

- Заповнення перед периметрами, дозволяє друкувати спочатку заповнення а потім вже основні периметри моделі. Дозволяє покращити друк нависаючих частин моделі, але при цьому може зробити зовнішній вид моделі гіршим (краще використовувати при друці технічних моделей).

При активації функції заповнення, отримаємо заповнення всієї деталі з однаковою щільністю по всьому об'єму деталі – рис. 3.2.

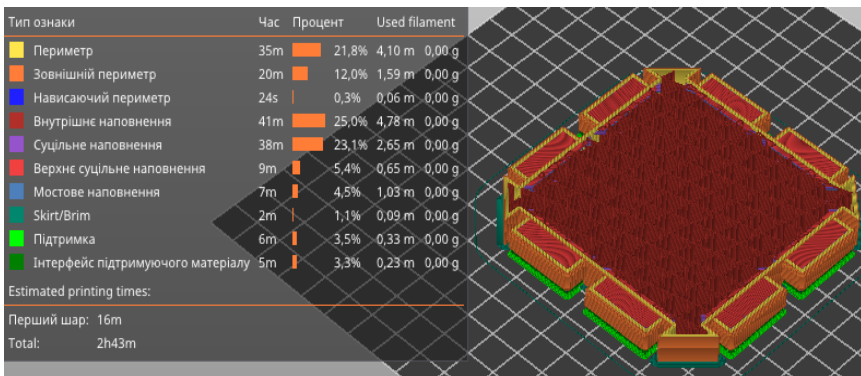


Рисунок 3.2 – Заповнення деталі при виборі відповідної функції

При необхідності більшої щільності заповнення лише деяких частин деталі – в меню Параметри друку обрати необхідну деталь, та клацнувши по ній правою клавішою миші Додати модифікатор типу Коробка – рис. 3.3.

В частині меню (рис. 3.4) потрібно задати геометричні розміри та розміщення в просторі модифікатора.

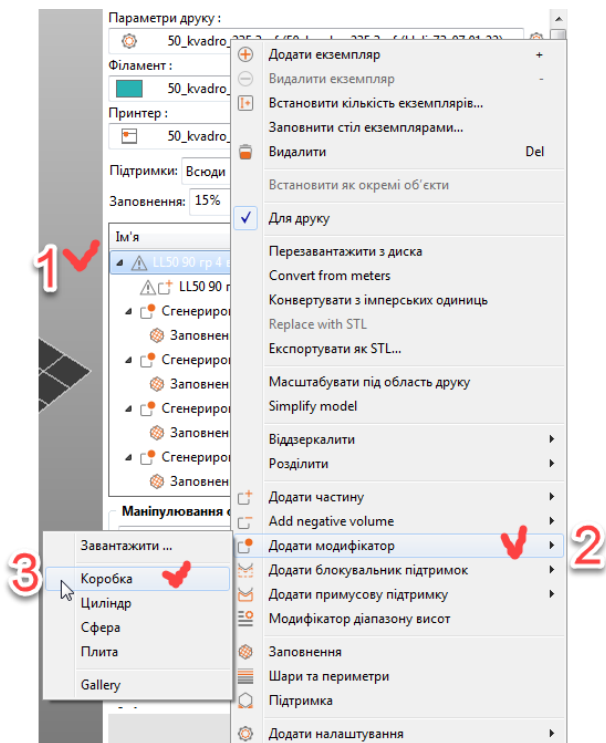


Рисунок 3.3 – Задання локального збільшення щільності заповнення деяких частин деталі



Рисунок 3.4 – Задання геометричних розмірів та розміщення в просторі модифікатора

Далі, клацнувши правою клавішою по модифікатору потрібно вибрати Заповнення. Після цього необхідно задати параметри заповнення модифікатора – рис. 3.5.

Параметри частини, які можна змінювати

Заповнення

✗ Щільність заповнення: 15% %

✗ Шаблон заповнення: Зірки

Шари та периметри

✗ Нижні суцільні шари: 3

✗ Периметри: 4 (мінімум)

✗ Верхні суцільні шари: 3

Рисунок 3.5 – Параметри заповнення модифікатора

Приклад застосування модифікатора для локальної зміни щільності заповнення – рис. 3.6.

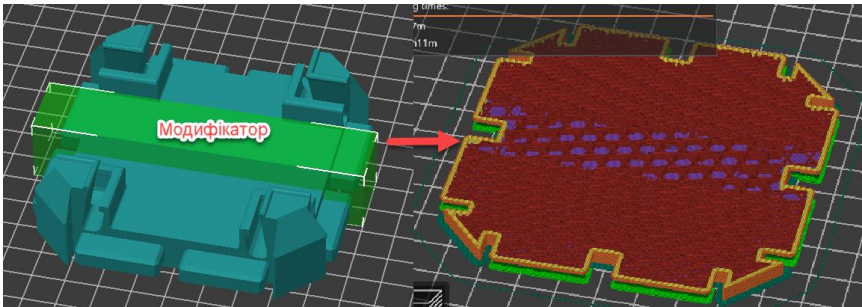


Рисунок 3.6 – Приклад застосування модифікатора для локальної зміни щільності заповнення

Завдання: Підготувати до друку в слайсері PrusaSlicer файл (з розширенням *.gcode) деталь куб (кожна сторона 80 мм) за параметрами вказаними в таблиці 3.1 (варіант обрати згідно списку). Задати модифікатор щільності заповнення в центрі куба. Порівняти довжину необхідного філаменту, вагу необхідного філаменту, приблизний час друку з застосуванням модифікатора та без?

Всі інші параметри не вказані в таблиці 3.1 обрати довільно.

Таблиця 3.1 – Варіанти завдань до практичної роботи 3

Варіант	Параметри		
	Висота шару для друку, мм	Загальна щільність заповнення, %	Щільність заповнення модифікатора, %
1	0,1	10	90
2	0,15	15	85
3	0,2	20	80
4	0,22	25	75
5	0,25	30	70
6	0,28	35	65
7	0,3	40	60
8	0,32	45	90
9	0,35	50	85
10	0,38	55	15
11	0,4	60	20
12	0,42	65	25
13	0,45	70	30
14	0,48	75	35
15	0,5	80	40
16	0,55	85	45
17	0,6	23	88
18	0,65	33	83
19	0,7	43	78
20	0,8	69	29

Контрольні запитання

1. Як налаштувати заповнення деталі в PrusaSlicer?
2. Основні параметри заповнення деталі в PrusaSlicer?
3. Як впливає щільність заповнення деталі при 3D-друці на готовий виріб?
4. Як впливає на зовнішній вигляд надрукованої деталі параметр Заповнення перед периметрами в PrusaSlicer?
5. Яким чином задати геометричні розміри та розміщення в просторі модифікатора в PrusaSlicer?
6. Яким чином задати щільність заповнення модифікатора в PrusaSlicer?

Практична робота 4 PrusaSlicer: налаштування підтримок

Мета: Оволодіти навиками налаштуванням в слайсері PrusaSlicer підтримок нависаючих частин деталі для 3D-друку.

Налаштувати підтримок нависаючих частин деталі в PrusaSlicer доступне на вкладці Параметри друку в пункті Підтримка (параметри розглядаються в експертному режимі) – рис. 4.1.

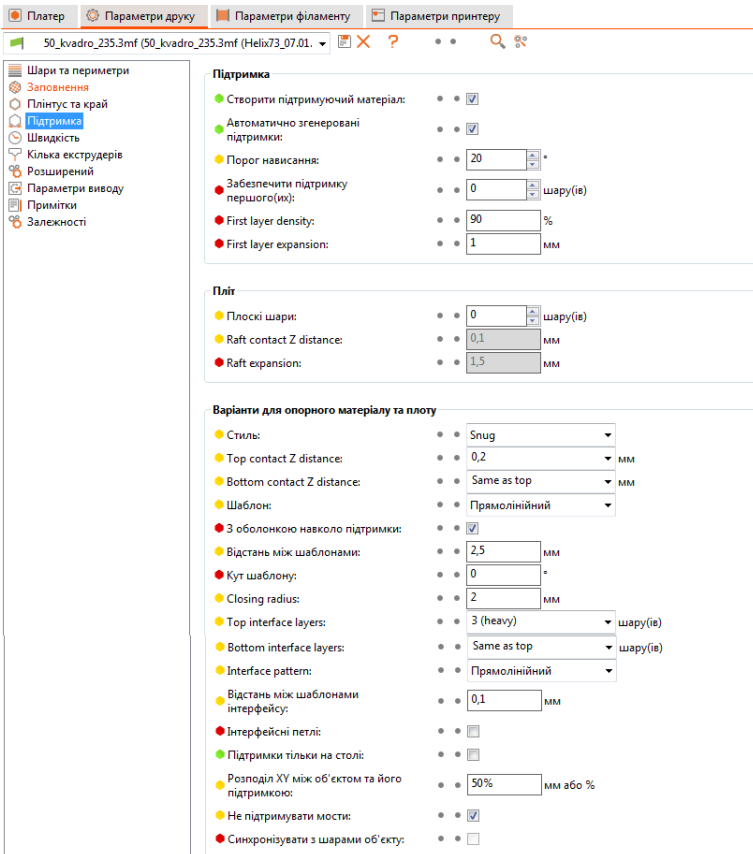


Рисунок 4.1 – Налаштувати підтримок в PrusaSlicer

Основні параметри:

- Створити підтримуючий матеріал, дозволяє побудову підтримок;

- Автоматично згенеровані підтримки, автоматично генерує підтримки при активній попередній опції. Якщо дану опцію вимкнути, то підтримки будуть будуватися лише з тих зон, що позначені спеціальними елементами;
- Поріг нависання, кут при якому будуть будуватися підтримки – рис. 4.2;

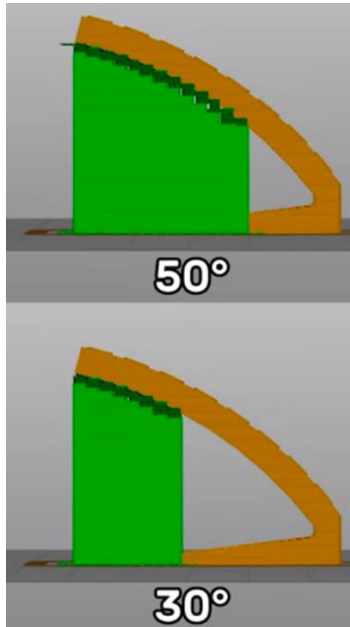


Рисунок 4.2 – Налаштувати кути кут при якому будуть будуватися підтримки в PrusaSlicer

- Top contact Z distance, залежить від того чи підтримку будуть розчині, чи ті що відділяються;
- Шаблон, по якому будуть друкуватися підтримки;
- З оболонкою навколо підтримки, визначає чи обвести підтримки однією лінією, що збільшую їх стійкість, але значно утруднює відділення підтримок;
- Відстань між шаблонами, відстань між лініями підтримок. При діаметрі сопла до 0,5 мм можна залишати да 2 мм. При діаметрах сопла більших 0,5 мм можливо збільшити цей параметр до 5 мм;
- Top interface layers, кількість шарів інтерфейсу верху підтримок. Покращує якість друку елементів, що будуть лежати на підтримці. Виставляється не менше 3 шарів та не менше 0,5 мм;

- Підтримки тільки на столі, дозволяю будувати підтримки тільки від стола;

- Розподіл XY між об'єктом та його підтримкою, визначає зазор між деталлю та підтримкою по горизонталі, в більшості випадків вказати 0,2-0,3 мм;

- Не підтримувати мости, можна не активувати дану функцію при наявності активного охолодження, що дозволяє будувати мости без підтримок.

Якщо немає необхідності генерації підтримок від всіх нависаючих елементів деталі, то можливо використати блокувальник підтримок. Для цього потрібно в меню Параметри друку обрати необхідну деталь, та клацнувши по ній правою клавішою миші Додати блокувальник підтримок типу Коробка (можливо обрати також довільну форму через Завантажити...) – рис. 4.3.

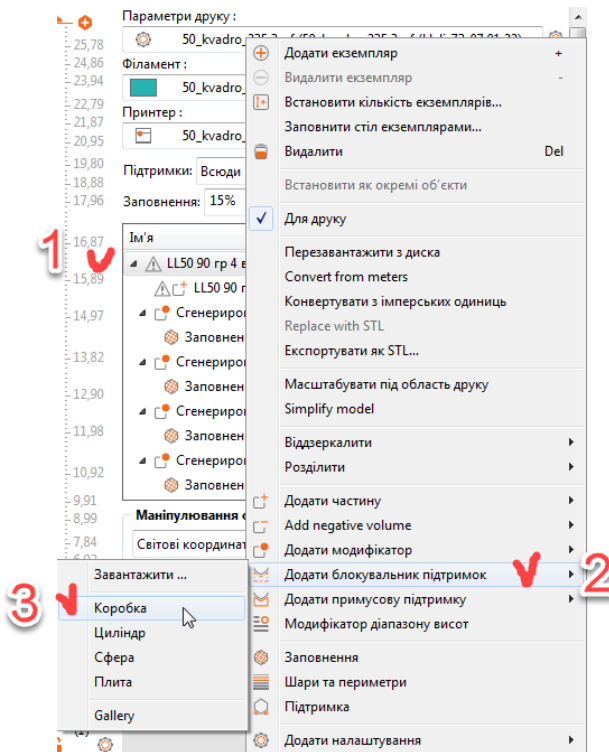


Рисунок 4.3 – Задання локального блокування підтримок

В частині меню (рис. 4.4) потрібно задати геометричні розміри та розміщення в просторі блокувальника підтримок.

Маніпулювання частиною

	X	Y	Z	
Позиція:	55,8	35,8	3,45	мм
Обертання:	180	0	0	°
Масштаб:	100	100	100	%
Розмір:	20	20	20	мм
<input type="checkbox"/> Люкмів				

Рисунок 4.4 – Задання геометричних розмірів та розміщення в просторі блокувальника підтримок

Якщо потрібно згенерувати підтримки тільки в частині деталі, то потрібно в меню Параметри друку обрати необхідну деталь, та клацнувши по ній правою клавішою миші Додати примусову підтримку типу Коробка (можливо обрати також довільну форму через Завантажити...) – рис. 4.5.

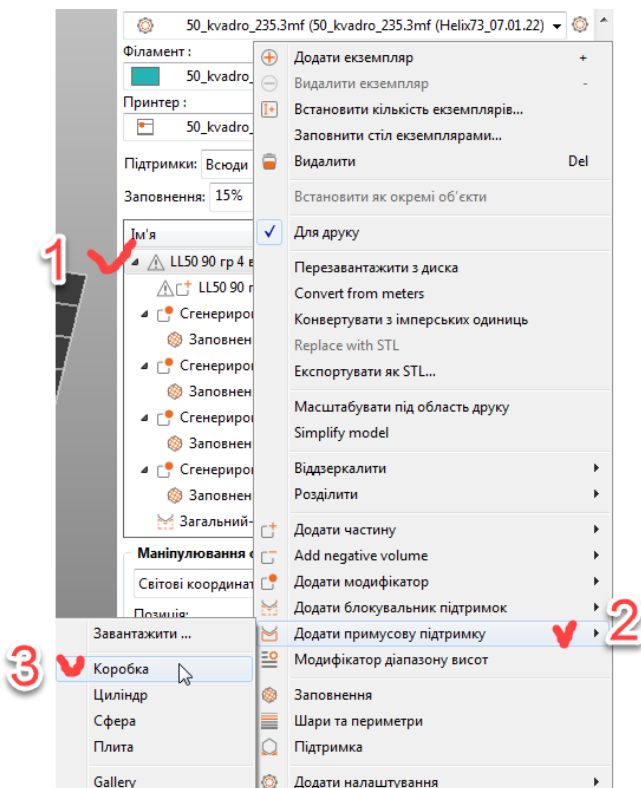


Рисунок 4.5 – Задання локального розташування підтримок

В частині меню (рис. 4.4) потрібно задати геометричні розміри та розміщення в просторі локального розташування підтримок.

Завдання: Підготувати до друку в слайсері PrusaSlicer файл (з розширенням *.gcode) деталь кронштейн (рис. 4.6) за параметрами вказаними в таблиці 4.1 (варіант обрати згідно списку). Зробити налаштування підтримок згідно таблиці 4.1. Порівняти приблизний час друку з застосуванням підтримок та без?



Рисунок 4.6 – Кронштейн

Всі інші параметри не вказані в таблиці 4.1 обрати довільно.

Таблиця 4.1 – Варіанти завдань до практичної роботи 4

Варіант	Параметри				
	Висота шару для друку, мм	Загальна щільність заповнення, %	Габаритні розміри кронштейна (висота x довжина x ширина x товщина), мм	Наявність підтримки в отворі (рис. 4.6)	Блокування підтримки в отворі (рис. 4.6)
1	0,1	10	30x30x8x2	1	2
2	0,15	15	40x40x10x2	2	1
3	0,2	20	50x50x10x2	1	2
4	0,22	25	60x60x10x4	2	1
5	0,25	30	70x70x12x4	1	2
6	0,28	35	80x80x10x2	2	1
7	0,3	40	90x90x8x2	1	2
8	0,32	45	30x30x8x2	2	1
9	0,35	50	40x40x10x2	1	2
10	0,38	55	50x50x10x2	2	1
11	0,4	60	60x60x10x4	1	2
12	0,42	65	70x70x12x4	2	1
13	0,45	70	80x80x10x2	1	2

14	0,48	75	90x90x8x2	2	1
15	0,5	80	30x30x8x2	1	2
16	0,55	85	40x40x10x2	2	1
17	0,6	23	50x50x10x2	1	2
18	0,65	33	60x60x10x4	2	1
19	0,7	43	70x70x12x4	1	2
20	0,8	69	80x80x10x2	2	1

Контрольні запитання

1. Як налаштувати підтримки нависаючих частин деталі в PrusaSlicer?
2. Основні параметри підтримок нависаючих частин деталі в PrusaSlicer?
3. Яка різниця між параметрами Створити підтримуючий матеріал та Автоматично згенеровані підтримки в опціях налаштування підтримок?
4. Які особливості параметра Підтримки тільки на столі в опціях налаштування підтримок?
5. Як заблокувати частину підтримок в деталі?
6. Як примусово згенерувати підтримки в частині деталі в PrusaSlicer?

Практична робота 5

Підготовка до 3D-друку зубчастих передач

Мета: Оволодіти навиками проєктування зубчастих передач в SolidWorks (додаток GearTrax) та підготовки їх до 3D-друку в слайсері PrusaSlicer.

Стандартним способом додавання елементів зубчастої передачі в програму SolidWorks є бібліотека стандартних компонентів ToolBOX, це додавання активується з меню Додатків і розташовується в лівій частині екрана.

Доступні такі налаштування: модуль, кількість зубів, кут тиску, діаметр валу та напрямний паз. На цьому список можливих модифікацій закінчується і зробити, наприклад зубчастий сектор, таким чином неможливо, оскільки елементи додаються тільки в контексті складання і доступні в режимі деталі тільки для перегляду.

Для більш гнучкої роботи з елементами зубчастих передач можна використовувати GearTrax. Додаток компанії Camnetics Inc. [3], призначений для створення різних трансмісійних деталей (зубчастих коліс, зірочок, черв'яків, шківів тощо). Ця програма встановлюється окремо від пакета SolidWorks і доступна для роботи з будь-якою САПР заснованою на геометричному ядрі Parasolid. Запуск програми здійснюється з директорії установки або за допомогою ярлика на робочому столі.

В додатку GearTrax немає відповідності нормам ДСТУ рис. 5.1. Ця програма для конструювання елементів передачі. У програмі доступні для моделювання та розрахунку такі елементи. Прямозубі та косозубі шестірні, конічні пари, зубчасті вінці для ланцюгової передачі, шківів для зубчастих та радіальних ременів, черв'якові передачі, зубчасті муфти, циклоїдальні (хвильові) редуктори та епіциклічні передачі.

Блок Pitch Data (рис. 5.1) дозволяє налаштувати параметри зубчастого колеса. Gear Standart дозволяє вибрати профіль зуба відповідно до міжнародних стандартів. Можна використовувати стандарт DIN як найближчий або вибрати параметр Free_form для введення потрібних параметрів.

Використовуючи стандарт передачі Free_form можна задати модуль, ділильний діаметр, нормальні діаметр, параметри позитивних і негативних зсувів, а також характеристики профілю зуба. При цьому під час введення неприпустимих значень у вікні попереднього перегляду з'явиться повідомлення про помилку. Вводячи значення, необхідно переконатися, що поточні настройки вводяться в метричній системі вимірювання (меню Units).

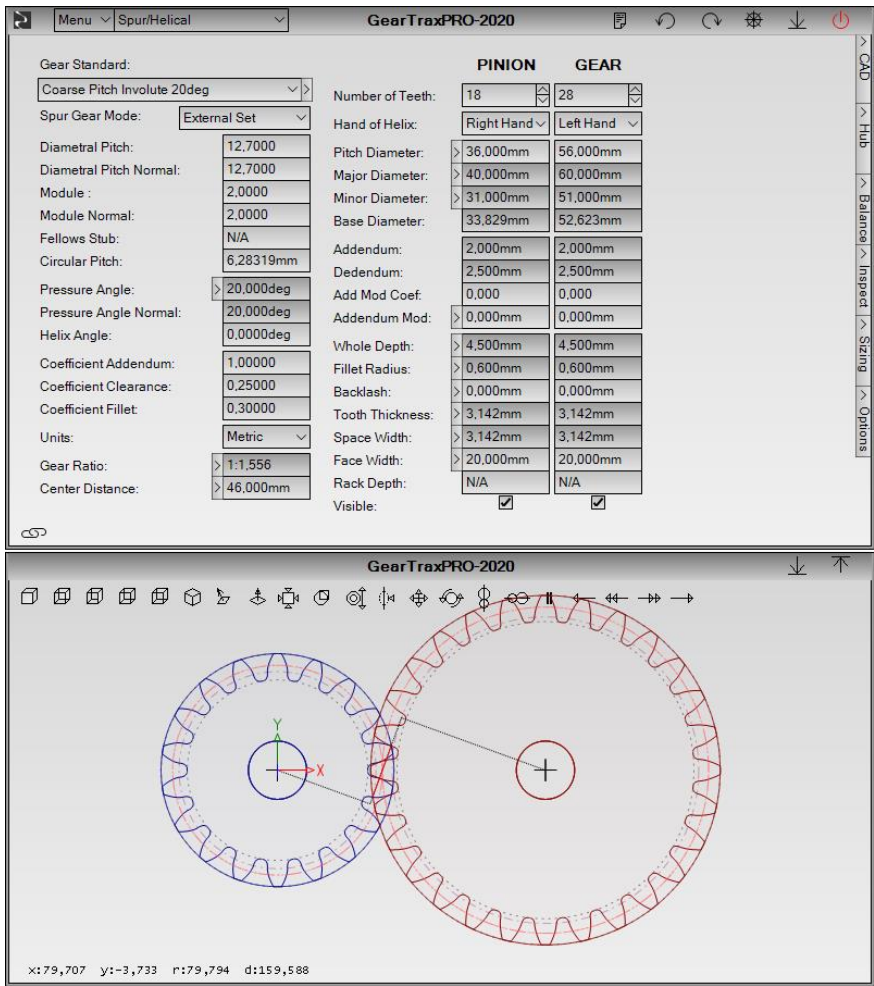


Рисунок 5.1 – Зовнішній вигляд додатку GearTrax

Наступний блок параметрів називається Assembly (рис. 5.2) і містить два пункти Gear Ratio - передатне співвідношення і Center Distance - міжцентрову відстань. Обидва пункти мають додаткові меню, які відкриваються при натисканні на сірий квадрат поряд із назвою. Меню Hunting Mesh для параметра Gear Ratio дозволяє швидко змінювати кількість зубів на шестірнях та дає відповідь на питання про реалізацію шестерень з поточними параметрами. Меню Center Distance покаже міжосьову відстань і коефіцієнти його зміни.

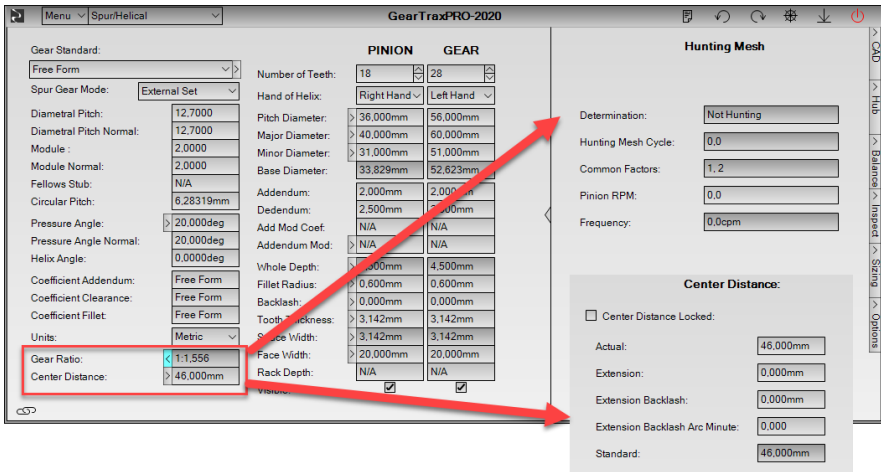


Рисунок 5.2 – Блок параметрів Assembly додатку GearTrax

Gear Data дозволяє налаштувати характеристики самої передачі (рис. 5.3). Змінити кількість зубців і тип передачі, змінити характеристики зуба, задати розміри заготовки та ввести необхідні поправки. За допомогою вкладки Hub mounting можна налаштувати параметри посадочних отворів шестерен.

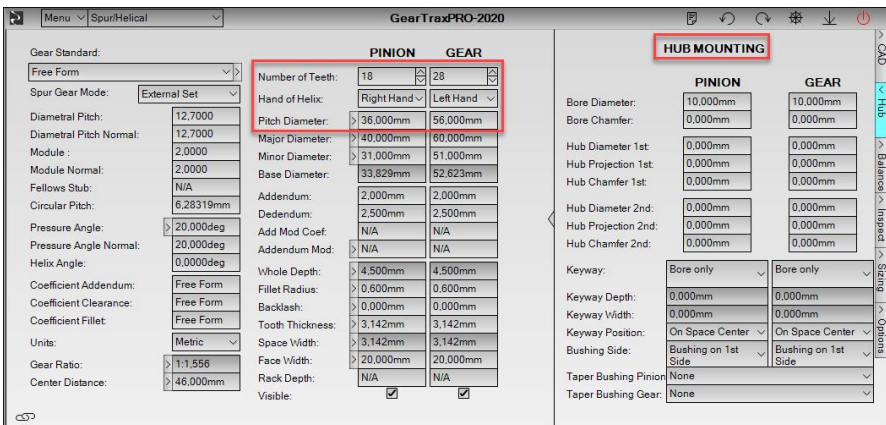


Рисунок 5.3 – Блок параметрів Gear Data, що дозволяє налаштувати характеристики самої передачі

За допомогою інструменту Annotate можна додати до моделі набір для подальшого оформлення таблиці параметрів характеристик. Включити або відключити параметри можна змінити значення у випадяючому меню проти кожного з них (рис. 5.4).

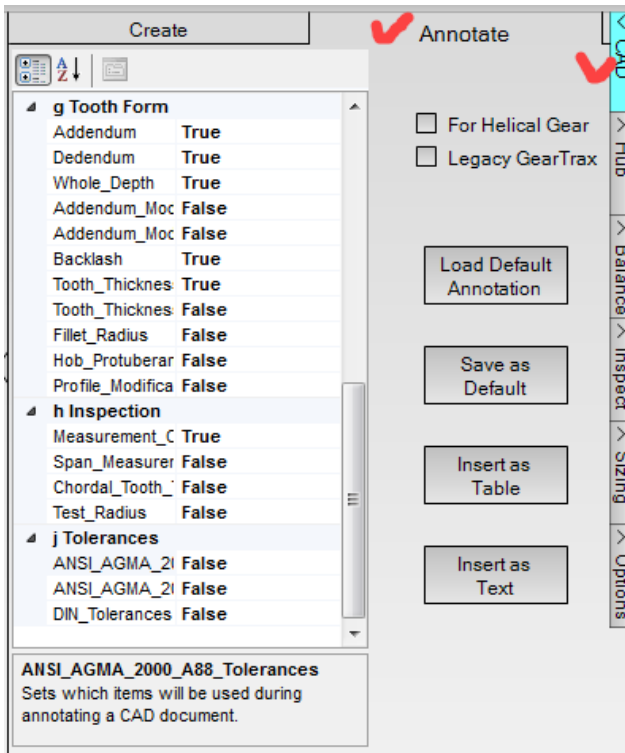


Рисунок 5.4 – Інструмент Annotate, з допомогою якого можна додати до моделі набір для подальшого оформлення таблиці параметрів характеристик

Після завершення передачі параметрів необхідно натиснути кнопку Create in CAD для запуску процесу створення твердої геометричної форми, після чого необхідні елементи будуть автоматично побудовані в програмі SOLIDWORKS і доступні для редагування як звичайні деталі. За замовчуванням створені таким чином деталі автоматично зберігаються в папці «Документи» на диску C.

Завдання: Підготувати до друку в слайсері PrusaSlicer файл (з розширенням *.gcode) зубчасте зчеплення циліндричних зубчатих коліс за параметрами вказаними в таблиці 5.1 (варіант оброти згідно списку).

Всі інші параметри не вказані в таблиці 5.1 обрати довільно.

Таблиця 5.1 – Варіанти завдань до практичної роботи 5

Варіант	Модуль m , мм	Число зубців z_1	Число зубців z_2
1	4	69	22
2	6	31	20
3	2,5	40	20
4	4,5	30	16
5	3	60	30
6	6	31	27
7	5	28	14
8	4	36	25
9	7	28	14
10	6	34	17
11	8	32	16
12	4	56	28
13	7	33	17
14	5	28	14
15	3,5	25	18
16	5	42	14
17	3	48	24
18	3,5	44	22
19	4	60	20
20	2,5	50	25

Контрольні запитання

1. Як можна додавати елементи зубчастих передач в програму SolidWorks?
2. Які налаштування доступні для моделювання елементів зубчастих передач в програмі SolidWorks?
3. Які обмеження є в додаванні елементів зубчастих передач в програмі SolidWorks з використанням бібліотеки стандартних компонентів ToolBox?
4. Які можливості забезпечує додаток GearTrax для моделювання трансмісійних деталей?
5. Які можливості надає програма GearTrax для налаштування параметрів зубчастих коліс та які профілі зубів можна вибрати?
6. Які параметри можна налаштувати в блоці Pitch Data програми GearTrax для налаштування зубчастого колеса?

7. Які параметри можна ввести при використанні стандарту передачі Free_form?
8. Які додаткові меню містить блок параметрів Assembly?
9. Що дозволяє налаштувати блок параметрів Gear Data?
10. Яким чином можна додати до моделі набір для подальшого оформлення таблиці параметрів характеристик за допомогою інструменту Annotate?

Практична робота 6 Використання ChatGPT для створення простих STL-моделей для 3D друк

Мета: Оволодіти навиками використання моделей згортки тексту на основі глибинного навчання (ChatGPT) для створення стандартного формату файлу STL для 3D друку простих деталей.

Розглянемо, як ChatGPT [4] може бути застосований для автоматизованого створення STL-моделей, що відповідають заданим описом деталей, для подальшого друку на 3D-принтері.

ChatGPT - це модель глибинного навчання, розроблена OpenAI [5]. Ця модель базується на мережі згортки тексту (CNN) та рекурентній мережі (RNN), і здатна генерувати текст, який схожий на людське мовлення. Вона була навчена на великій кількості текстів з Інтернету та може генерувати тексти з високою ймовірністю.

Основне вікно ChatGPT (див. рис. 6.1) відкривається в будь-якому браузері. У вікно повідомлень відбувається спілкування з чатботом.

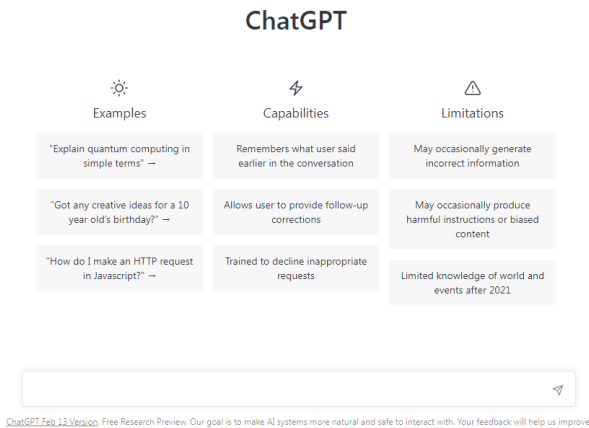


Рисунок 6.1 – Основне вікно ChatGPT

ChatGPT та подібні великі мовні моделі можуть бути ефективно використані не лише для роботи з текстом, але й як інструменти для автоматизованого проектування, зокрема для створення STL-моделей. Ці моделі здатні інтерпретувати запити природною мовою та перетворювати їх на структуровані геометричні дані, що відповідають заданому опису деталей.

Весь робочий процес створення STL-моделі за допомогою ChatGPT можна деталізувати та розділити на кілька послідовних етапів:

- формулювання запиту (Промпт-інжиніринг): на цьому етапі оператор повинен чітко та однозначно описати бажану деталь. Важливим є використання точних термінів, зазначення типу геометричної фігури, її конкретних розмірів, одиниць вимірювання та інших параметрів (наприклад, радіусів заокруглення або кількості отворів);

- генерація коду моделлю: використовуючи свої знання про структуру коду та геометрію, отримані під час попереднього навчання на великих масивах даних, ChatGPT обробляє запит. Він не просто створює абстрактний опис, а генерує безпосередньо код у форматі ASCII STL. Цей код визначає поверхню об'єкта через набір трикутних граней (фасетів), включаючи координати їх вершин та нормалі;

- створення файлу моделі: отриманий від чат-бота текстовий блок коду необхідно перетворити на файл, який розпізнається відповідним програмним забезпеченням. Це технічний крок, який полягає у копіюванні згенерованого тексту та його збереженні у файл із специфічним розширенням;

- підготовка до друку (слайсинг): фінальний етап передбачає імпорт створеного STL-файлу в програму-слайсер (наприклад, PrusaSlicer, Cura тощо). Слайсер візуалізує модель, дозволяє перевірити її коректність та розміри, а потім "нарізає" її на шари для подальшого 3D-друку деталі.

Однією з ключових переваг використання ChatGPT для створення STL-моделей є значне підвищення швидкості та ефективності процесу проектування простих об'єктів. Замість витрачання часу на ручну розробку деталі у складних CAD-системах, що вимагає спеціальних навичок, оператор може просто ввести текстовий опис у чат. ChatGPT автоматично згенерує відповідний STL-код майже миттєво. Цей підхід особливо корисний для швидкого прототипування, коли потрібно оперативно створити багато однотипних деталей з різними параметрами або швидко внести зміни у розміри існуючої моделі.

Розглянемо практичний приклад використання ChatGPT для створення простої, але точної STL-моделі деталі – куба зі стороною 20 мм. Цей приклад дозволяє легко перевірити коректність роботи методу.

Оператор формулює та вводить чіткий текстовий опис завдання у чат: «Потрібно створити STL-код деталі куб зі стороною 20 мм».

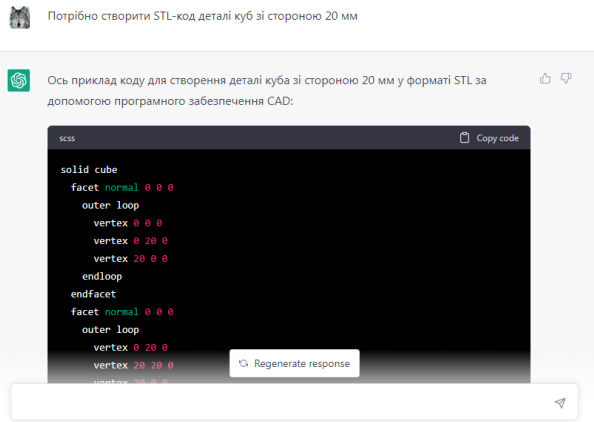
Після обробки запиту ChatGPT генерує відповідний текстовий блок, який є повним описом потрібної деталі у форматі ASCII STL – результат генерації представлено на рис. 6.2. Код починається та закінчується відповідними службовими словами і містить координати вершин.

Далі, згенерований код необхідно перетворити на файл. Для цього через кнопку Copy code (або виділенням вручну) текст потрібно скопіювати та вставити в будь-який пустий текстовий файл (наприклад, створений у Блокноті) та зберегти його. Критично важливим кроком є зміна розширення цього текстового файлу з *.txt на *.stl, щоб програми для 3D-друку могли

його розпізнати.

Також, аналогічним чином для порівняння та перевірки масштабованості методу був створений *.stl файл куба зі стороною 50 мм. Це дозволило переконатися, що модель коректно інтерпретує різні числові значення розмірів у запитах.

На завершальному етапі, відкривши в програмі PrusaSlicer обидва сформовані файли, ми отримаємо їх коректне графічне тривимірне зображення на віртуальній платформі принтера, що підтверджує успішність генерації — рис. 6.3.



ChatGPT Feb.13 Version. Free Research Preview. Our goal is to make AI systems more natural and safe to interact with. Your feedback will help us improve.

Рисунок 6.2 – Основне вікно ChatGPT та діалог створення коду деталі куб в форматі STL

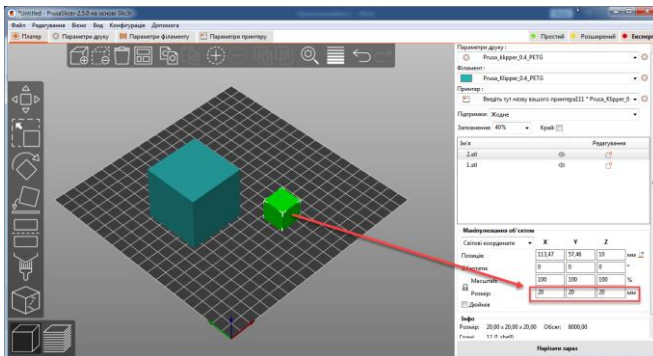


Рисунок 6.3 – Графічний вигляд в PrusaSlicer деталей створених за допомогою ChatGPT

Далі, створені деталі потрібно налаштувати для 3D друку та роздрукувати.

Завдання: Підготувати до друку в слайсері PrusaSlicer файл (з розширенням *.gcode) куб зі стороною розрахувати за відношенням: номер згідно списку збільшити в 5 разів, розмірність в мм.

Контрольні запитання

1. Що таке ChatGPT і як він працює?
2. Як ChatGPT може бути використаний для створення STL-моделей?
3. Які кроки потрібно виконати для створення STL-моделі з використанням ChatGPT?
4. Як перетворити текстовий опис форми деталі у відповідний STL-код?
5. Які переваги використання ChatGPT для створення STL-моделей?
6. Яким чином відбувається спілкування з чатботом у вікні основного вікна ChatGPT?

Практична робота 7 Застосування макросів в PrusaSlicer

Мета: Оволодіти навиками використання застосування макросів в PrusaSlicer для полегшення та оптимізації процесу друку 3D-виробів.

Кожен файл GCODE можна розділити на 2 частини: коментар, що знаходиться на початку програми і після команд, і самі команди. Розглянемо на прикладі моделі, нарізаної за допомогою PrusaSlicer (Версія 2.4.0) – рис. 7.1.

```
; generated by SuperSlicer 2.4 on 2022-11-26 at 18:33:57 UTC  
;  
; external perimeters extrusion width = 0.42mm  
; perimeters extrusion width = 0.47mm  
; infill extrusion width = 0.45mm  
; solid infill extrusion width = 0.47mm  
; top infill extrusion width = 0.45mm  
; first layer extrusion width = 0.61mm
```

Рисунок 7.1 – Початок GCODE нарізаного за допомогою PrusaSlicer

Як видно з рис. 7.1 - у першому рядку нас зустрічає назва слайсера, його версія, дата і час слайсингу.

На самому початку рядка стоїть знак «;», він позначає коментар. Усе, що знаходиться в рядку до нього, читає принтер, а на те, що після, він не звертає увагу.

Далі йде кілька рядків, у яких нам показуються налаштування ширини лінії, які слайсер використовував для нарізки моделі. Усі вони є коментарями.

Після йдуть рядки, в яких описуються початкові температури, команда знаходження нульової точки координат і команди переміщення і так далі.

Слід зазначити, що GCODE це не мова програмування. Насправді це загальноприйнятий формат роботи з ЧПУ верстатами, зокрема і з 3D-принтерами. Кожна команда розміщена в окремому рядку і являє собою назву команди (буква і число) та її параметри (також букви і числа). Наприклад, команда G1 переміщення сопла до певної координати X та Y з видавлюванням пластику на певну величину E – рис. 2.

G1 X66.119 Y78.118 E2.30769

Рисунок 7.2 – Команда з GCODE

Усі команди поділяються на два основні типи:

- G-команди, усі команди цієї групи призначені для переміщення або калібрування. 3D-принтер використовує не всі з них, при цьому не кожен 3D-

принтер використовує ті самі команди, що й інший. Наприклад, є команда для автокалібрування столу. Очевидно, що не у всіх принтерах ця функція передбачена конструкцією, то і виконуватися ця команда не буде;

- M-команди, ці команди є допоміжними. Здебільшого вони пов'язані з налаштуванням і калібруванням температур, роботою з файлами і налаштуваннями параметрів переміщення

Є й інші нечисленні типи, але в 3D-принтерах вони не використовуються.

Як і будь-який інший текстовий документ, файли GCODE можна редагувати в блокноті. Але для цього потрібно щоразу відкривати файл, знаходити потрібну частину і вписувати свої макроси. Замість цього багато слайсерів пропонують вручну вписати макроси, які потім будуть автоматично вписані на початку, наприкінці або середині GCODE файлу. Велику гнучкість має PrusaSlicer - у ньому можна додати макрос на початку, наприкінці, до і після зміни шару, під час паузи і між об'єктами в послідовному друці.

Спочатку розглянемо Початкові макроси. Усі макроси цього типу призначені для підготовки принтера перед друком. Наприклад, за допомогою однієї команди M301 можна налаштувати PID на принтері для різної температури. Це може бути дуже важливо, оскільки PID залежить не тільки від характеристик принтера і його конструкції, а й від температури друку. Якщо хотенд дуже інертний, то значення PID для різних температур слабо відрізнятимуться, тому немає сенсу щоразу змінювати їх. Але якщо хотенд має малу інертність, то різниця коефіцієнтів PID для різних температур досить велика, щоб зіпсувати модель через стрибки температур. Значення параметрів PID для температур, якими ви найчастіше друкуєте, їх можна підставити в початковий GCode. У PrusaSlicer це можна зробити у вікні Параметри принтеру, всередині вкладки Користувачький G-code -рис. 7.3.

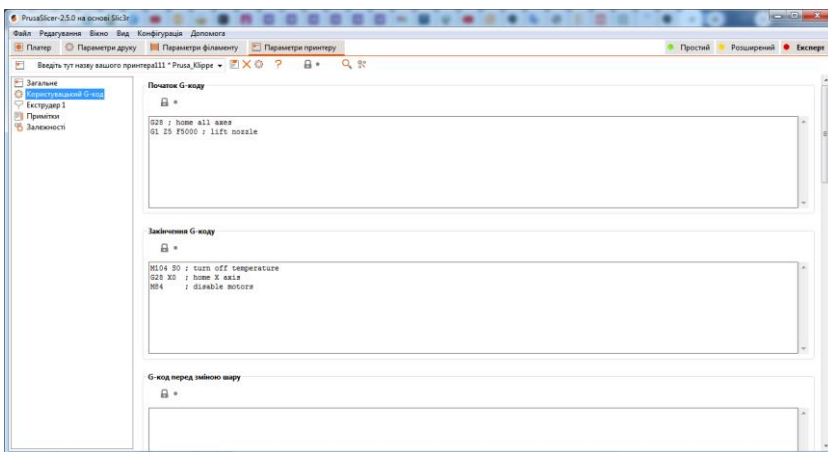


Рисунок 7.3 – Внесення Початкових макросів в PrusaSlicer

Для зручності можна створити відразу кілька профілів принтерів для різних температур.

Якщо під час кожного друку потрібно змінювати пластик, то для зручності можна використовувати невеликий макрос для зміни/заправлення філамента перед друком рис. 7.4.

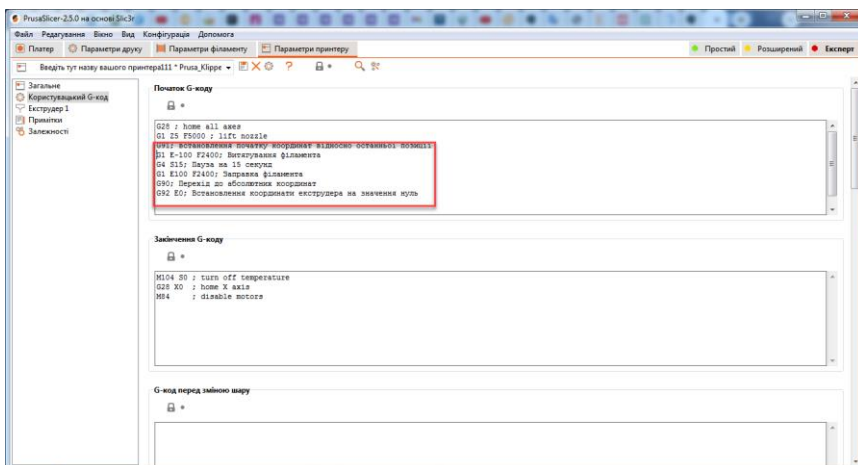


Рисунок 7.4 – Макрос для заміни пластику після кожного друку в PrusaSlicer

Значення параметра E у двох командах G1 необхідно підібрати для кожного принтера. Якщо боуден-екструдер, то потрібно виміряти довжину

трубки в міліметрах і додати 30-50 міліметрів, потім отримане значення вставте в параметр E. Якщо директ-екструдер, то потрібно вставити значення 50-70 мм. Весь отриманий код потрібно вставити у вікно Початок G-коду після стандартних команд (рис. 7.4).

Макроси, що використовуються Між шарами. У цій групі знаходяться макроси, які прямо впливають на процес друку. Найчастіше вони викликають найбільшу складність через необхідність ручного редагування файлу GCode в блоктоті або іншому текстовому редакторі. Але насправді в цьому немає нічого складного, адже в кожному такому файлі є коментарі, за якими можна легко знайти потрібну ділянку коду. Наприклад, можна додати звуковий сигнал під час зміни шару. Для цього необхідно використовувати команду M300: «M300 S500 P800». Варто враховувати, що в принтері встановлений найпростіший спікер, тому не варто вказувати частоту нижче 500 Гц, оскільки звук буде тихішим і сильно спотвореним. Для підбору частоти можна використовувати цей сайт. Квадратна форма хвилі найбільш сильно схожа на звук спікера. Щойно буде підібрана відповідна частота і час, отриманий рядок можна вставити у вікно G-код, що виконується під час зміни шару.

Кінцеві макроси. Усі слайсери наприкінці друку залишають стандартні команди: підняття сопла, вимкнення нагрівачів і обдування. Але якщо йде друк декількох моделей одна за одною, то на повторний нагрів сопла і столу буде йти велика кількість часу. Щоб принтер не вимикав нагрівання, необхідно прибрати команду «M104 S0». Також збільшити зручність роботи з 3D-принтером можна шляхом додавання макросу відтворення звукового сигналу в кінці друку.

Завдання: Підготувати макрос для PrusaSlicer для зміни пластика після кожного друку за параметрами вказаними в таблиці 7.1 (варіант обрати згідно списку).

Всі інші параметри не вказані в таблиці 7.1 обрати довільно.

Таблиця 7.1 – Варіанти завдань до практичної роботи 7

Варіант	Тип екструдера	Пауза
1	боуден	10
2	директ	12
3	боуден	14
4	директ	16
5	боуден	18
6	директ	20
7	боуден	22
8	директ	10
9	боуден	12

10	директ	14
11	боуден	16
12	директ	18
13	боуден	20
14	директ	22
15	боуден	13
16	директ	15
17	боуден	17
18	директ	19
19	боуден	21
20	директ	23

Контрольні запитання

1. Які дві основні частини складають файл GCODE?
2. Що позначає знак ";" в файлі GCODE?
3. Що показує перший рядок у файлі GCODE на прикладі PrusaSlicer?
4. Які команди використовуються в рядках, які описують початкові температури у файлі GCODE?
5. Що таке GCODE і для яких пристроїв це формат роботи?
6. Які є два основні типи команд у файлі GCODE?
7. Які функції виконують M-команди у файлі GCODE?
8. Як можна редагувати файли GCODE?
9. Які є переваги створення кількох профілів принтерів в PrusaSlicer для різних температур?
10. Як можна змінювати пластик перед кожним друком за допомогою макросу в PrusaSlicer?
11. Які значення параметра «E» потрібно встановлювати для боуден-екструдера і для директ-екструдера?

Практична робота 8

Вибір оптимального розміщення деталей в PrusaSlicer для 3D-друку

Мета: Оволодіти навиками оптимального розміщення деталей в PrusaSlicer для 3D-друку.

Перед 3D-друком деталі, потрібно зробити налаштування, що будуть стосуватися оптимального розміщення. Основні параметри – час друку, затрачений матеріал, можливість та якість друку.

На рис. 8.1 показано креслення та 3D-модель деталі кронштейна.

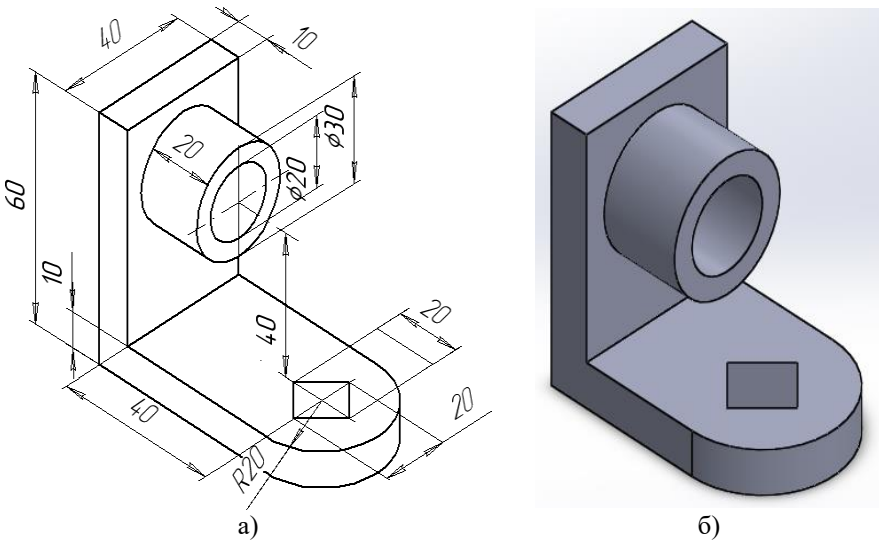


Рисунок 8.1 – 3D-деталь кронштейна (а – креслення, б - 3D-модель)

Далі потрібно експортувати файл моделі кронштейна в файл типу *.stl. Даний файл потрібно відкрити в PrusaSlicer – рис. 8.2. Деталь знаходиться в центрі стола, але її розміщення не оптимальне. Тому, що при такому розміщенні кронштейна, при друці потрібне буде використання підтримок.

Далі будемо розглядати варіанти розміщення деталі, що допустимі для пошарового друку методом наплавлення матеріалу (FDM-друк). Використання підтримок – дозволене. Заповнення деталі – 50 %.

В таблиці 8.1 дано 3 основні варіанти розміщення деталі для друку.

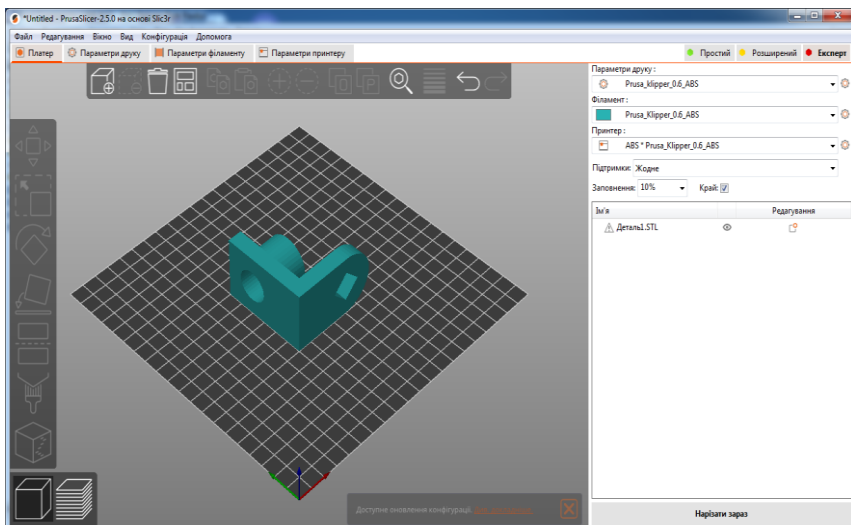
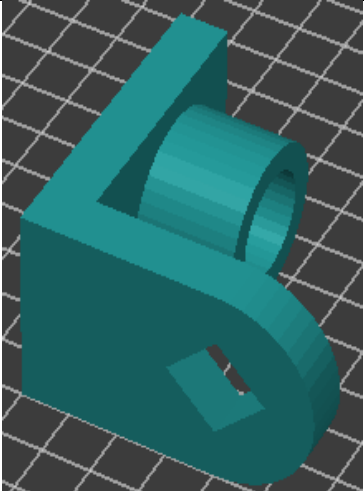
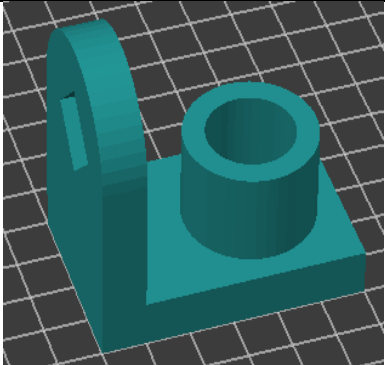
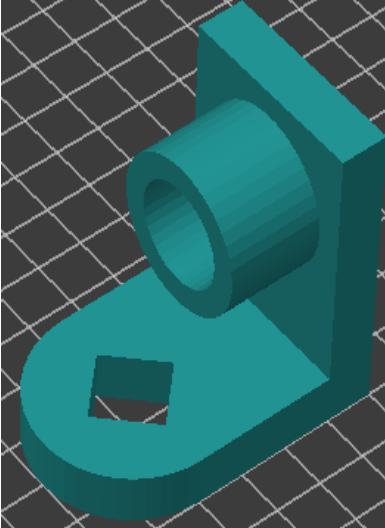


Рисунок 8.2 – Розміщення 3D-деталь кронштейна в PrusaSlicer після імпорту

Таблиця 8.1 – Варіанти розміщення деталі

№	Розміщення деталі	Використан о філаменту, м	Час друку , хв	Використанн я підтримок
1		16,03	114	так

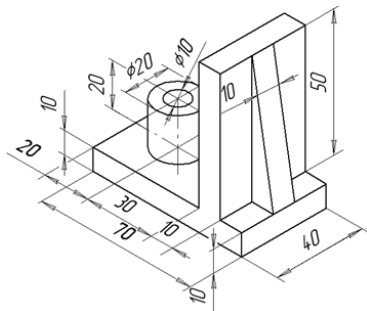
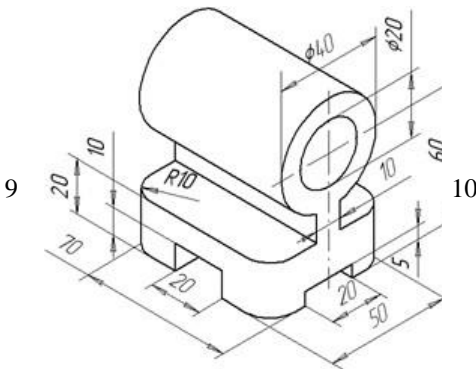
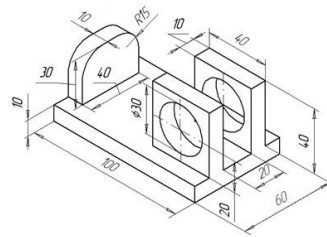
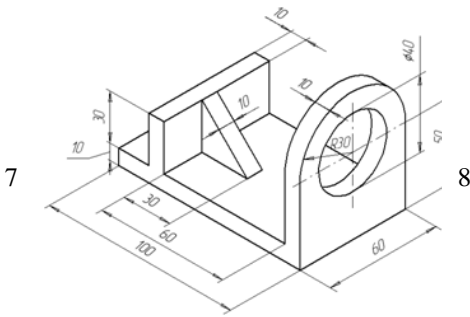
2		14,94	106	ні
3		15,89	107	ні

Як видно з таблиці 8.1 – найбільш оптимальний варіант для друку кронштейна – варіант 2. При цьому варіанті не потрібне використання підтримок, використання матеріалу та часу – найменше.

Завдання: Виконати оптимальне розміщення деталі в PrusaSlicer для 3D-друку за параметрами - час друку, затрачений матеріал, можливість та якість друку. Деталь обрати з таблиці 8.2 (варіант обрати згідно списку).

Всі інші параметри не вказані в таблиці 8.2 обрати довільно.

Таблиця 8.2 – Варіанти завдань до практичної роботи 8



Контрольні запитання

1. Які основні критерії необхідно враховувати при виборі оптимального розміщення деталі перед початком 3D-друку?
2. У який формат файлу потрібно експортувати 3D-модель кронштейна для подальшої роботи у програмі PrusaSlicer?
3. Чому початкове автоматичне розміщення деталі по центру стола (рис. 8.2) було визнано неоптимальним у даному випадку?
4. Які фіксовані умови друку були задані для проведення експерименту з різними варіантами розміщення (метод друку, відсоток заповнення)?
5. Спираючись на дані таблиці 8.1, поясніть, чому саме варіант №2 був обраний як найкращий, порівняно з варіантами №1 та №3.

Список літератури

1. Software for 3D-print / PrusaSlicer/ – Режим доступу: <https://www.prusa3d.com> (дата звернення: 27.01.2026).
2. Software for 3D-print / Cura 3D/ – Режим доступу: <https://ultimaker.com> (дата звернення: 27.01.2026).
3. Software for gear design / GearTrax / – Режим доступу: <https://camnetics.com> (дата звернення: 27.01.2026).
4. Software for AI / ChatGPT / – Режим доступу: <https://chat.openai.com/chat> (дата звернення: 28.01.2026).
5. Software for AI / – Режим доступу: <https://openai.com> (дата звернення: 28.01.2026).

Зміст

Вступ	3
Практична робота 1. PrusaSlicer: налаштування, основи роботи	4
Практична робота 2. Cura 3D: налаштування, основи роботи	14
Практична робота 3. PrusaSlicer: налаштування заповнення	19
Практична робота 4. PrusaSlicer: налаштування підтримок	24
Практична робота 5. Підготовка до 3D-друку зубчастих передач	30
Практична робота 6. Використання ChatGPT для створення простих STL-моделей для 3D друк	36
Практична робота 7. Застосування макросів в PrusaSlicer	40
Практична робота 8. Вибір оптимального розміщення деталей в PrusaSlicer для 3D-друку	45
Список літератури	50

Навчальне видання

Методичні вказівки
до виконання практичних робіт з навчальної дисципліни «Адитивні
технології та дизайн» для студентів денної та заочної форми навчання за
спеціальністю «Матеріалознавство»

Укладачі:

ГУБСЬКИЙ Сергій Олександрович
БУРЛУЦЬКИЙ Олексій Вікторович
КАСЬЯНЕНКО Ігор Вікторович
ТКАЧОВ Вячеслав Юрійович
ХОДИРСЬВ Геннадій Павлович

Відповідальний за випуск доц. Губський С. О.
Роботу до видання рекомендував доц. Юрченко О. А.

В авторській редакції

План 2026 р., поз. 226

Підп. до друку 2026 р. Гарнітура Times New Roman. Ум. друк. арк. 2,1

Видавничий центр НТУ «ХП».
Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 5478 від 21.08.2017 р.
61002, Харків, вул. Кирпичова, 2

Електронне видання