

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Комп'ютерних наук
(повна назва)


Кафедра Медіасистем та технологій
(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА Пояснювальна записка

рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Створення комплексу архітектурних рішень в 3D,
націлених на забезпечення макетів житлових просторів
(тема)


Виконав:
здобувач 4 року навчання,
групи ВПВПС-21-1


Олександр СУХАНОВ
(власне ім'я, прізвище)

Спеціальність 186 Видавництво та поліграфія
(код і повна назва спеціальності)

Тип програми освітньо-професійна

Освітня програма
Видавничо-поліграфічна справа
(повна назва освітньої програми)

Керівник  доц. Віктор ЧЕЛОМБИТЬКО
(посада, власне ім'я, прізвище)

Допускається до захисту
Завідувач кафедри МСТ

Жанна ДЕЙНЕКО
(власне ім'я, прізвище)

(підпис)

2025 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Комп'ютерних наук
Кафедра Медіасистем та технологій
Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)
Спеціальність 186 Видавництво та поліграфія
Тип програми Освітньо-професійна
Освітня програма Видавничо-поліграфічна справа
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:
Зав. кафедри МСТ _____
(підпис)
«19» травня 2025 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

здобувачеві Суханову Олександрю Андрійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Створення комплексу архітектурних рішень в 3D,
націлених на забезпечення макетів житлових просторів

Затверджена наказом по університету від 19 травня 2025 р. № 385 Ст

2. Термін подання здобувачем роботи до екзаменаційної комісії 9 червня 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи

Національні та міжнародні стандарти для електронних друкованих видань; Методи та принципи побудови інтерфейсу користувача; Вимоги та міжнародні стандарти до освітніх ресурсів; Вимоги та міжнародні стандарти до тривимірного друку

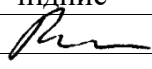
4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі

1. Аналіз завдання на кваліфікаційну роботу; 1.1 Вихідні обмеження; 1.2 Очікуваний результат; 2 Аналітичний огляд літератури; 3. Інструментальна частина; 3.1 Вибір та обґрунтування програмного забезпечення; 3.2 Вибір слайсера та підготовка до друку; 3.3 Сумісність обладнання; 4. Проектування 3-D моделей макету; 4.1 Структура; 4.2 Створення модулів та функціональних елементів; 4.3 Підготовка моделей до друку; 4.4 Текстурування; 5 Економічна частина; Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (п. 5 включається до завдання за рішенням випускової кафедри)

Перелік слайдів презентації Титульний слайд;Актуальність;Технічне завдання;Вибір та обґрунтування програмного забезпечення;Опис практичної частини створення набору моделей;Приклад макету;Підготовка до друку; Економічна частина; Висновки.;

6. Консультанти розділів роботи (п. 6 включається до завдання за наявності консультантів згідно з наказом, зазначеним у п. 1)

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата
Основна частина	доц. Челомбітько В.Ф.		08.06.2025
Економічна частина	ас. Легеза О.М.		06.06.2025

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

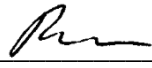
№	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Визначення мети, завдань і структури роботи	19.05	
2	Збір і аналіз літературних джерел та стандартів	21.05	
3	Постановка технічного завдання	21.05	
4	Розробка 3D-моделей та підготовка до друку	25.05	
5	Тестування моделей і друк макетів	26.05	
6	Розробка демонстраційної сцени (макет житлового середовища)	30.05	
7	Економічна частина	31.05	
8	Оформлення пояснювальної записки	01.04	
9	Оформлення графічної частини	02.04	

Дата видачі завдання 19 травня 2025 р.

Здобувач


_____ (підпис)

Керівник роботи


_____ (підпис)

доц. Віктор ЧЕЛОМБІТЬКО

(посада, власне ім'я, прізвище)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка кваліфікаційної роботи: 50 с., 4 табл., 55 рис., 1 дод., 12 джерел.

КІНЕСТЕТИКА, 3D-МОДЕЛЮВАННЯ, КІНЕСТЕТИЧНІ МОДЕЛІ, 3D ДРУК, BLENDER, АРХІТЕКТУРА, ОСВІТА, НАВЧАЛЬНІ ЗАСОБИ.

Метою кваліфікаційної роботи є створення набору кінестетичних архітектектурних 3D моделей для навчання студентів архітектектурних напрямків за допомогою макетування.

Проведено аналіз аналогів електронних бібліотек, визначено основні недоліки та переваги таких рішень. Визначено характеристики формату набору та функціональні особливості.

Проаналізовано вплив кінестетичних засобів навчання на залученність до навчання учнів. Проведено аналіз можливостей 3D друку для поставленої задачі та обрано програмне забезпечення Blender та Ultimaker Cura.

Створено ескізи та структуру проекту, а також розроблено моделі, підготовлено їх до друку та додано в електронну бібліотеку.

Створена та описана документація проекту.

ABSTRACT

Explanatory note of qualification work: 50 p., 4 tab., 55 fig., 1 app., 12 sources.

KINESTHETICS, 3D MODELLING, KINESTHETIC MODELS, 3D PRINTING, BLENDER, ARCHITECTURE, EDUCATION, TEACHING AIDS.

The purpose of the qualification work is to create a set of kinesthetic architectural 3D models for teaching students of architectural directions through modelling.

The analyses of analogues of electronic libraries were carried out, the main disadvantages and advantages of such solutions were identified. The characteristics of the set format and functional features are determined.

The influence of kinesthetic teaching aids on students' engagement in learning is analysed. An analysis of 3D printing capabilities for the task was carried out and the Blender and Ultimaker Cura software was selected.

Sketches and project structure were created, models were developed, prepared for printing and added to the electronic library.

Project documentation created and described.

ЗМІСТ

	С.
ВСТУП.....	7
1 АНАЛІЗ ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ	9
1.1 Основні функціональні вимоги до моделей.....	9
1.2 Вихідні обмеження.....	10
1.3 Очікуваний результат.....	10
2 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ.....	11
2.1 Огляд сучасних технологій розробки.....	11
2.2 Важливість кінестетичних моделей	11
2.3 3D-друк в контексті створення архітектурних наборів макетування	12
2.4 Огляд аналогів	13
3 ІНСТРУМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА	16
3.1 Вибір та обґрунтування програмного забезпечення.....	16
3.2 Вибір слайсера та підготовка діяльності до друку	19
4 ПРОЄКТУВАННЯ 3-D МОДЕЛЕЙ МАКЕТУ	22
4.1 Визначення основних характеристик набору	22
4.2 Створення модулів та функціональних елементів.....	24
4.3 Перевірка відповідності технічним вимогам	30
4.4 Підготовка до друку	36
4.5 Додання готових елементів до електронної бібліотеки	40
4.6 Створення версій набору за призначенням	41
6 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	45
ВИСНОВКИ	49
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	50
ДОДАТОК А Перелік моделей.....	51

ВСТУП

У сучасному світі сфера застосування 3D дуже швидко розвивається, з'являються нові технології візуалізації, ігрові рушії все частіше стають потребою, а не опцією для сучасних архітектурних рішень, як інтер'єрних так і екстер'єрних. Розвиваються і пакети 3D моделювання, набувають нових функцій та видів, відносно нещодавно, з'явилась технологія скульптингу, що імітує роботи з реальною глиною та гіпсом, що сильно розвинуло роботу з персонажами та органічними формами, кожного року розширюються можливості процедурного створення об'єктів, що теж може бути дуже корисно в побудові макетів локацій, архітектурних макетах та інших.

Окремої уваги заслуговує сфера 3D-друку, що поступово проникає в абсолютні різні сфери професійної діяльності, від будівництва до медицини, друковані об'єкти дозволяють спрощувати та пришвидшувати виробництво різноманітних об'єктів та деталей для найрізноманітніших потреб. 3D-друк також відрізняється відносною дешевизною порівняно з великими виробництвами або індивідуальними замовленнями для великих компаній. На даний момент часу більша частина друку припадає на вироби з пластику, що може бути як перевагою так і недоліком, основним плюсом матеріалу є його довговічність, адаптивність до різних умов зберігання та достатньо міцна будова, тому вироби з нього користуються великим попитом як в домашньому 3D-друці так і в промислових масштабах.

Об'єктом дослідження став процес створення різноманітних архітектурно націлених 3D моделей для майбутнього створення функціонального макету житлових комплексів.

Предмет дослідження - це набір взаємозамінних 3D-моделей, адаптованих до умов друку й макетування. Що передбачає широку варіативність застосування, де за потреби користувачів можуть використовуватись лише частина з можливих елементів архітектурного макету.

Мета роботи: створити комплект 3D моделей для створення та архітектурного макетування житлових просторів, націлений на викладацьку, навчальну та дослідницьку діяльність, а також може використовуватись для комунікацій та презентацій в архітектурних студіях та конструкторських бюро.

Завдання роботи: проаналізувати технічні вимоги до моделей з точки зору 3D друку, можливості їх реалізації для забезпечення найкращого коефіцієнту ціни та можливостей майбутнього набору. Дослідити наявні способи та методи макетування, що використовуються архітекторами та наближеними до них спеціальностями. Розробити 3D моделі для архітектурного комплексу для макетування житлових просторів з можливістю взаємозаміни елементів, їх покращення, модифікації та можливості багаторазового застосування. Провести перевірку моделей та підготувати вихідні файли до друку враховуючи технічні особливості як принтеру, так і загальної можливості реалізації їх до друку. Оцінити майбутні можливості реалізації, застосування та масштабування, як економічного так і потенційні модифікації самих елементів комплексу без потреби їх заміни.

Практична цінність роботи полягає в тому, що результатом роботи є готові та перевірені для друку файли 3D моделей націлені на створення архітектурних макетів житлових просторів. Це рішення може бути реалізоване як студентами так і викладачами архітектурних напрямів для наглядної демонстрації, презентації, навчання та перевірки власних проєктів. Також макет може бути використаний окремими конструкторськими бюро, архітектурними студіями для простої презентації та ефективної комунікації як в середині команди так і для комунікації з потенційними клієнтами.

1 АНАЛІЗ ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

У рамках кваліфікаційної роботи поставлено завдання - розробити набір функціональних моделей для 3D друку що відповідають архітектурним потребам. Основна ідея роботи – створити комплексний набір моделей, що подаватимуться в форматі .STL файлів, які разом складатимуть багатогранний та практичний набір елементів архітектурних споруд, що може використовуватись учнями та викладачами архітектурних напрямів, архітектурними бюро, тощо.

1.1 Основні функціональні вимоги до моделей

Задля забезпечення широкого функціоналу моделей та їх коректної реалізації, особливо враховуючи розробку заточену на 3D друк ми маємо враховувати основні вимоги до моделей, серед яких є:

- універсальність елементів в контексті поєднань, елементи не задумані для поєднання за допомогою кріплень, це основна мета для зручності, швидкості збірки та запобігання поламки цих самих кріплень;

- друк на 3D-принтері розроблених моделей передбачає певний перелік параметрів яким мають відповідати надані файли серед них товщина елементів, яка не може бути менша ніж 0.8 мм, відсутність нависаючих елементів або дірок в моделі, або при їх наявності-спеціальні підтримки, а також коректна топологія, відсутність вивернутих нормалей, поламаних полігонів, накладання полігонів один на одного тощо;

- масштабування: розмір моделей повинен відповідати умовному масштабу, придатному для ручної взаємодії;

- варіативність і модульність: можливість створення кількох типів об'єктів на основі базових блоків.

1.2 Вихідні обмеження

Враховуючи специфіку розробки, а також технічні обмеження сучасних принтерів ми маємо враховувати певні обмеження, як з точки зору фізичної реалізації, так і обмеження програмного забезпечення, серед яких:

- технологічні: не всі дрібні деталі можуть бути коректно надруковані без втрати форми;
- програмні: для моделювання використовується переважно Blender тому він накладає певні обмеження в плані створення твердотільних об'єктів за рахунок наявності вбудованих інструментів;
- матеріальні: вибір друкованого матеріалу обмежений доступними варіантами PLA/ABS.

1.3 Очікуваний результат

Результатом роботи повинен стати готовий набір STL-файлів, які пройшли перевірку технічних вимог саме для 3D друку, яка складається з багатьох етапів, як то перевірка орієнтації нормалей полігонів, масштаб, параметри експорту тощо. Конкретні масштаби всіх елементів для правильної взаємодії та економічності в плані використання пластику.

Фінальний набір архітектурних елементів можна буде використовувати у навчальних проектах студентів-архітекторів, для комунікації між архітектором і замовником, а також у виставкових чи ігрових цілях як модульний конструктор для проектування житлового простору. Проте його функціональність закінчується на фантазії самих користувачів, які можуть використовувати набір в менш пов'язаних цілях, як то прототипування ігрових рівнів в реальному просторі, дитячі розвиваючі ігри тощо.

2 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

2.1 Огляд сучасний технологій розробки

Останні роки характеризуються активним впровадженням цифрових технологій у сферу архітектурного проектування. Серед них особливо помітну роль відіграє 3D-моделювання, яке дозволяє швидко створювати і змінювати об'ємно-просторові форми, а також реалізовувати їх у вигляді фізичних моделей за допомогою 3D-друку. Такий підхід забезпечує гнучкість у роботі з простором і значно спрощує комунікацію між архітектором і замовником або студентом і викладачем.

Модельовані архітектурні макети є ефективним інструментом для демонстрації забудов, організації мікрорайонів або окремих вулиць. При цьому важливо не лише візуально відтворити будівлі, а й створити систему модулів, які можна поєднувати між собою. Така модульність дозволяє змінювати конфігурації середовища, будувати варіативні варіанти забудови і забезпечувати багаторазове використання макетів без втрати цілісності.

У світі вже існують приклади освітніх або ігрових наборів для створення моделей міст, проте вони або надто спрощені, або не орієнтовані на реалістичну архітектуру. Для професійного використання бракує комплексних рішень, які були б одночасно доступними, змінними й технічно придатними. У цьому контексті створення власного архітектурного конструктора з продуманою логікою з'єднання елементів, адаптованого до умов друку, є перспективним і актуальним завданням.

2.2 Важливість кінестетичних моделей

З розвитком технологій сфера освіти та методів навчання переживає трансформації та постійно набуває нових способів подання інформації, одним з них є введення кінестетичних елементів в процес викладання. В даному проекті

розглядаються надруковані на 3d принтері моделі для макетування житлових просторів для застосування здебільшого в сфері навчання студентів архітектурних коледжів, ВНЗ та студентів курсів архітектурних напрямів. Кінестетичні моделі розширюють сприйняття інформації через більшу концентрацію задіюючи більше органів чуття та м'язову пам'ять. Також кінестетичні моделі є ефективним методом для підвищення інклюзивності навчання та більшій індивідуалізації, адже багато учнів краще можуть сприймати інформацію використовуючи додаткові засоби для цього.

Також важливим є введення практичних частин під час процесу навчання, процес макетування розширює увагу, допомагає краще осмислювати абстрактні поняття, переводячи теорію в практику.

2.3 3D-друк в контексті створення архітектурних наборів макетування

В сучасних архітектурних макетах використовується багато матеріалів, проте під час навчання основними виступають дерево, пенопласт та папір через їхню вартість та відносну легкість в створення та , якщо потрібно, в редагуванні. Проте всі ці матеріали є достатньо короткотривалими, адже швидко зношуються під час використання, а також під впливом зовнішніх факторів, таких як вологість, температура та час.

В той же час сфера 3D друку швидко прогресує, поширюючись на нові сфери застосування, одною з яких є освітня сфера. Одною з причин стрімкого розвитку став баланс ціни та довговічності виробів. Основним матеріалом частіш за все стає PLA пластик, який досить міцний для багаторазового використання. Цей матеріал набагато довговічніший ніж вище зазначені класичні матеріали макетування, адже не потребує спеціальних умов зберігання та майже не піддається впливу зовнішніх акторів, що дуже добре виділяє його на фоні аналогів.

Сучасні принтери мають широкий спектр параметрів налаштування, одним з яких є товщина слоїв друку, що забезпечує точність друку, частіш за все цей параметр використовують в діапазоні 0,1-0,3 мм, що забезпечує

оптимальну точність та дозволяє налаштовувати відповідно швидкість виробництва.

Виходячи з цих причин, 3D друк стає все більш поширеним в сфері макетування, ці вироби легко зберігати, обробляти за потреби і вони можуть бути в користуванні не один рік, що дозволяє повторне їх використання, що дуже корисно та ефективно в навчальному процесі.

2.4 Огляд аналогів

На ринку сучасних наборів макетування представлено багато електронних бібліотек моделей заточених під широкий вибір сфер застосування, які поєднують в собі маркетплейси, безкоштовні бібліотеки елементів 2D та 3D графіки. Популярними серед них є:

– CGTrader: сайт з широким вибором моделей на будь яку тематику, де будь-який зареєстрований користувач може завантажувати зроблені моделі (рис. 2.1);

– Turbosquid, аналогічний попередньому сайту, проте більше орієнтований на індивідуальні платні моделі та рідко повноцінні взаємопов'язані комплекти (рис. 2.2);

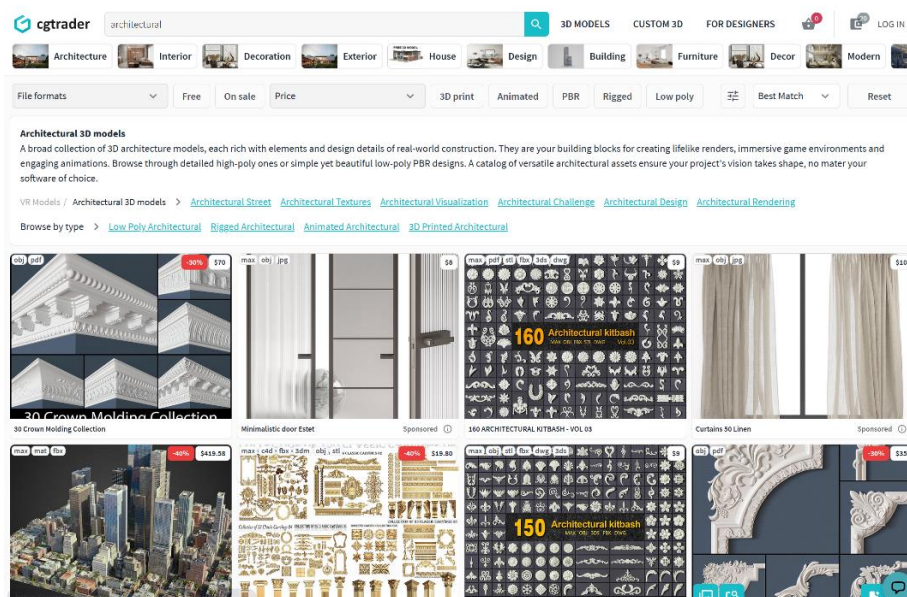


Рисунок 2.1. – Приклад архітектурних моделей на сайті cgtrader

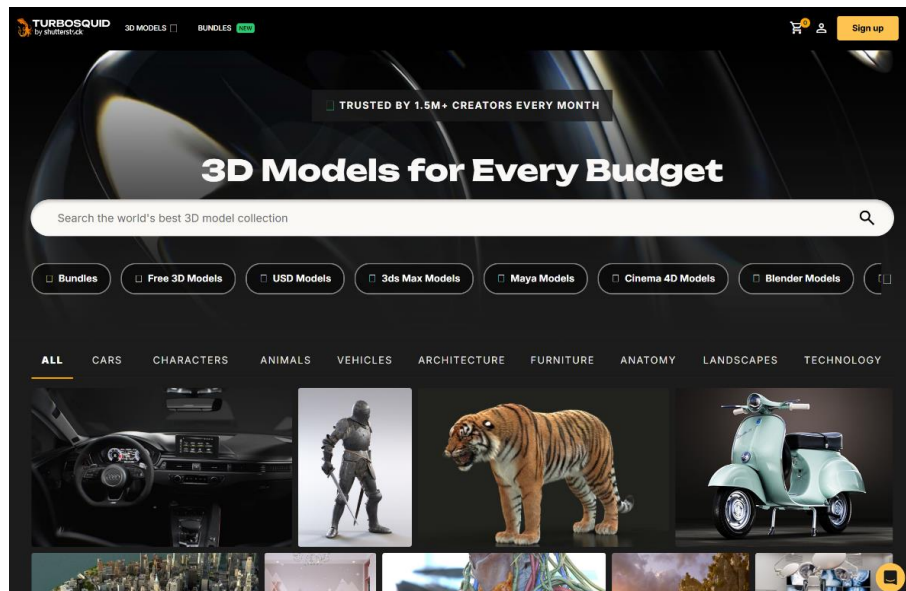


Рисунок 2.2 – Приклад головної сторінки сайту

– FAB, найпопулярніша на даний момент платформа поширення моделей, яка має не тільки графічні елементи, а й цілі елементи коду для ігор, готові ігрові рівні та набори різноманітних VFX (рис. 2.3);

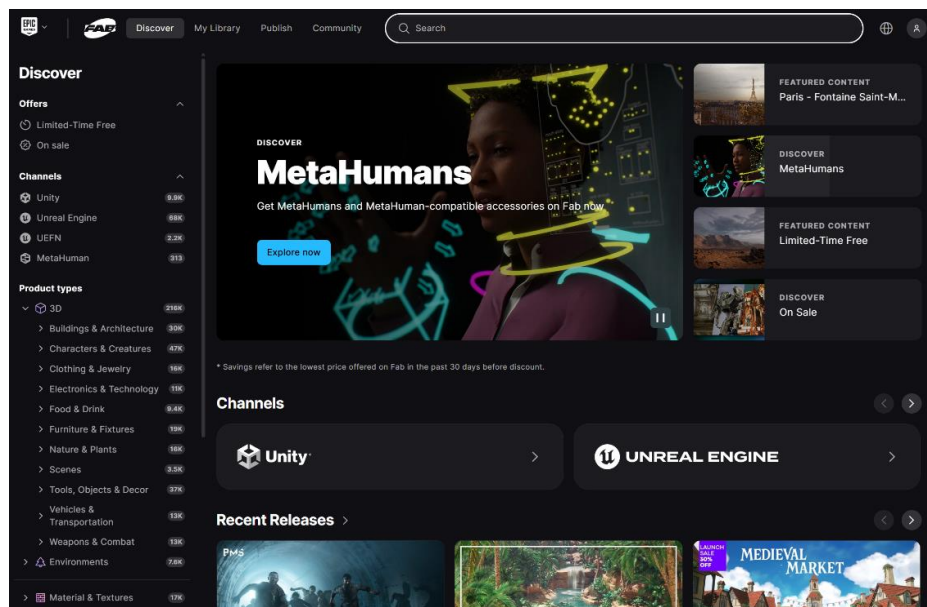


Рисунок 2.3 – Приклад головної сторінки сайту FAB

– Muminifactory, сайт орієнтований на поширення моделей під друк поєднаних тематикою настільних ігор, тобто основними товарами сайту є мініатюри ігрових персонажів та локацій в фентезійній стилістиці (рис. 2.4).

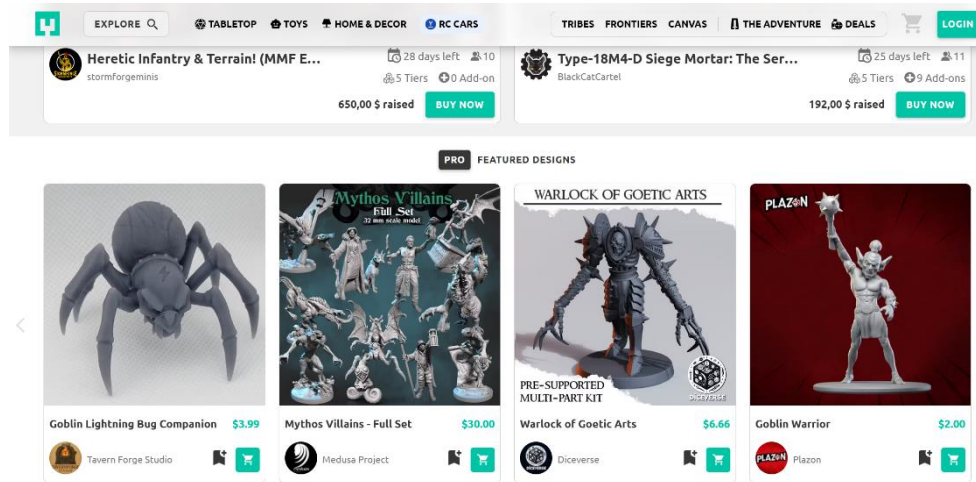


Рисунок 2.4 – Приклад головної сторінки сайту Muminifactory

Проте одним з основних недоліків всіх цих сайтів є те, що пошук взаємопов'язаних елементів готових до друку стає дуже непростю задачею, адже всі вони, за виключенням Muminifactory, не націлені на конкретну специфіку. При пошуку аналогічних моделей на одному з цих сайтів ми можемо стикнутись з тим, що частини елементів будуть розроблені різними авторами, що в даному випадку не гарантує єдність стилістики, деталізації та, що головне, масштабу, що критично важливо в контексті макетування.

Важливо також зазначити, що хоч всі ці сайти мають фільтрацію моделей, більшість з цих моделей не оптимізовані до друку, а значить не можна передбачити фінальний результат.

3 ІНСТРУМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

3.1 Вибір та обґрунтування програмного забезпечення

Основним інструментом роботи з 3-D моделями, їх створенням, обробкою, підготовкою до друку, віртуальним тестуванням тощо була обрана програма Blender 3D [3, 4, 9, 12]. Blender 3D, це пакет програмного забезпечення, що має на меті різноплановість робіт в ньому, тому поєднує в собі безліч способів та інструментів, які релевантні для створення макету архітектурних рішень житлових комплексів. Більшу частину часу створення наших моделей припадає саме на їх моделювання, аналіз, обробку та модифікацію, тому моделювання грає тут ключову роль, програма має всі ключові інструменти для класичного 3D-моделювання, наприклад інструменти створення форм, а саме:

– Extrude (інструмент, що дозволяє створювати нову геометрію з вже існуючих полігонів) (рис. 3.1);

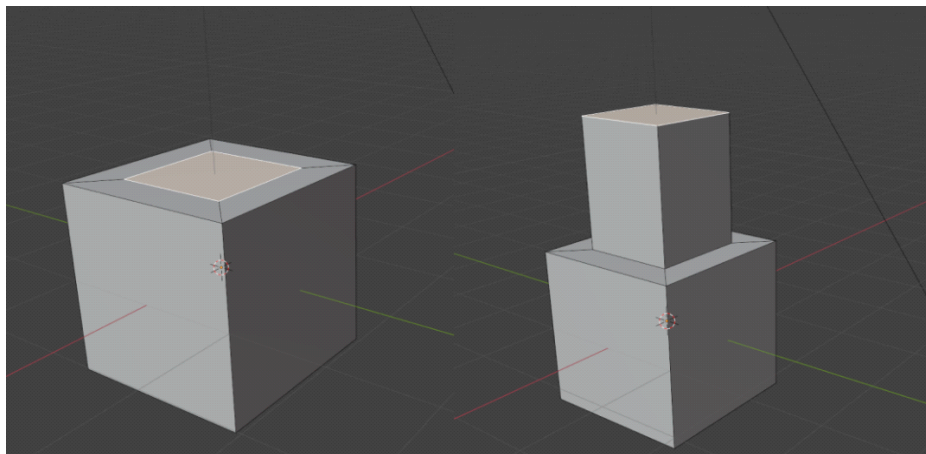


Рисунок 3.1 – Приклад роботи інструмента Extrude

– Bevel (інструмент створення фасок та модифікація профілю їх форм) (рис. 3.2);

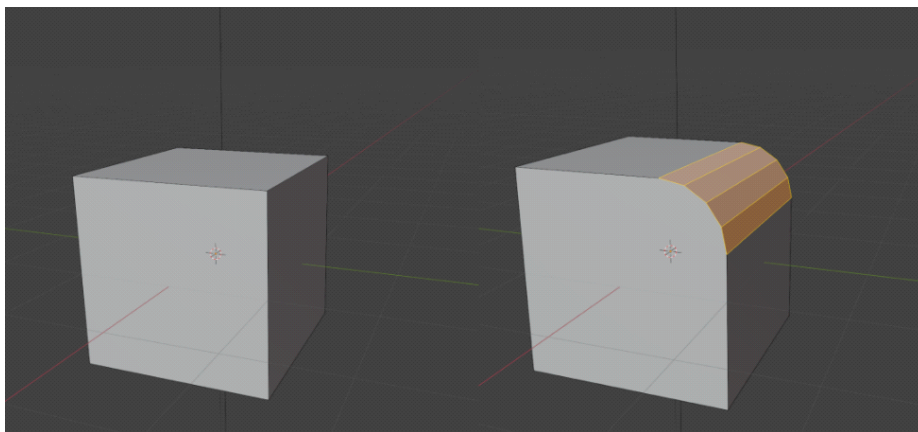


Рисунок 3.2 – Приклад застосування інструменту Bevel

– Insert (Інструмент створення нової геометрії на площині вже існуючих полігонів) (рис. 3.3);

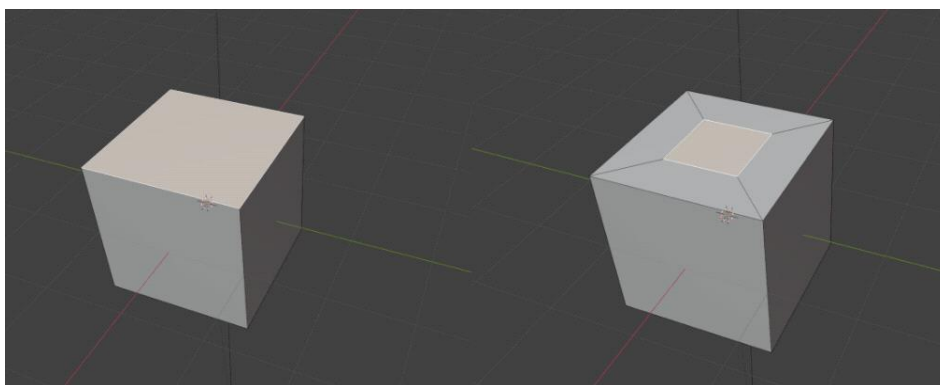


Рисунок 3.3. – Приклад застосування інструменту Insert

– Loop cut (інструмент створення нових ребер, шляхом розрізу геометрії) (рис. 3.4);

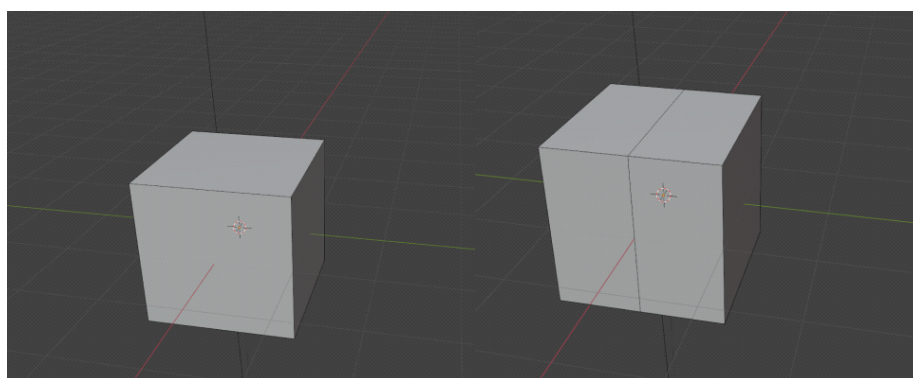


Рисунок 3.4. – Приклад застосування інструменту Loop Cut

– інструменти довільного створення геометрії (точок, ребер, полігонів), що менш часто застосовуються, такі як Poly build, Knife, Edge slice та ін.

Інструменти взаємодії з об'єктами, серед них класичні для більшості програм:

- Rotate;
- Move;
- Scale.

Що відрізняє Blender серед своїх конкурентів, так це більш широкий спектр задач, серед яких більш профільна можливість скульптингу, написання скриптів, геометричні ноди, тощо. Також програма має широкий спектр можливості кастомізації та роботи з hotkeys, що дозволяє без попередніх налаштувань використовувати більшість інструментів та функцій за допомогою відповідної клавіші або комбінації клавіш, що сильно пришвидшує роботу.

Важливим аспектом при виборі цього програмного забезпечення стала його модель поширення на безкоштовній основі без потреби в додаткових ліцензіях, довідках студента, тощо.

Проте при розробці таких чітких моделей, що мають відповідати чіткому масштабу, містити суворі пропорції, частіше вибір падає на програми CAD моделювання, такі як Fusion360, Autocad та інші, що ж виділяє Blender на їх фоні, так це великий набір інструментів обробки моделей, що дозволяє більш гнучко та глибоко підготувати їх для друку. Функції перевірки орієнтації нормалей полігонів, перевірка на замкненість моделі, перевірки на якість топології, функції вирівнювання моделі або її частини – все це допоміжні інструменти, що дозволяють впевнитись в готовності моделі для друку та попередити часті помилки, що можуть виникати. Також програма наділена широким асортиментом форматування моделей, серед яких і формати Obj та Stl, що частіше за все використовуються слайсерами та принтерами.

3.2 Вибір слайсера та підготовка діяльність до друку

Після завершення етапу моделювання основним та кінцевим інструментом стає слайсер, спеціальне програмне забезпечення яке націлено на те, щоб напряду видавати готову до друку модель, його основна функція це забезпечити створення спеціальних підтримок, які виконують функцію утримування нависаючих елементів, наприклад підвіконь, лавок, тощо.

На даний момент основними слайсерами, що добре взаємодіють з принтерами є:

- Ultimaker Cura;
- Prusa Slicer;
- Bambu Studio;
- Chitubox;
- Lychee Slicer.

Ultimaker Cura – це найпоширеніший безкоштовний слайсер із відкритим кодом, розроблений компанією Ultimaker. Має простий інтерфейс, величезну базу підтримуваних принтерів і гнучкі налаштування.

Переваги:

- безкоштовний;
- проста навігація для новачків;
- потужні функції для досвідчених користувачів;
- швидке оновлення та підтримка спільноти;
- велика бібліотека профілів принтерів.

Недоліки: візуалізація моделей іноді уповільнюється на слабких ПК.

PrusaSlicer це програма побудована на базі старої версії Slic3r, але значно вдосконалена. Має сильні можливості для налаштування, хорошу підтримку SLA та FDM друку.

Переваги:

- дуже точний контроль параметрів друку;
- підтримка FDM та SLA;

- автоматичне розміщення підтримок, покращені шаблони;
- добре працює навіть з не-Prusa принтерами.

Недоліки:

- інтерфейс складніший для новачків;
- більш вимогливий до ресурсів ПК ніж аналоги.

Vambu Studio – сучасний слайсер орієнтований на свої принтери, але має відкриту підтримку сторонніх моделей, має сучасний інтерфейс і підтримку мультиколірного друку.

Переваги:

- швидка і якісна обробка моделей;
- гарна інтеграція з Vambu-принтерами;
- сильна підтримка AMS (мультиматеріального друку);
- інтуїтивний інтерфейс.

Недоліки:

- орієнтований переважно на власні принтери;
- не має такої широкої документації та інформації в відкритому доступі.

Chitubox популярний серед користувачів LCD/SLA принтерів (фотополімерний друк). Часто йде в комплекті з принтерами таких брендів як Elegoo, Anycubic.

Переваги:

- добре працює з фотополімерними моделями;
- автоматичне й ручне створення підтримок;
- має безкоштовну і Pro-версію.

Недоліки:

- Pro-версія платна і обмежує функціональність без підписки;
- інтерфейс не завжди інтуїтивний;
- повільніше оновлення порівняно з конкурентами.

Lycsee Slicer являє собою функціональний слайсер для SLA/LCD-друку, який акцентує увагу на простому інтерфейсі, швидкому рендері та гнучких налаштуваннях підтримок.

Переваги:

- зручний інтерфейс;
- підтримка хмарних профілів та автоматичного hollowing (випорожнення моделі).

Недоліки:

- обмежена безкоштовна версія;
- може некоректно працювати зі старішими принтерами.

Серед широкого вибору програм переддрукової підготовки був обраний UltimakerCura тому що одна з основних задач проекту - розробити максимально універсальний набір, отже ми маємо мінімально намагатись заточувати розробку під конкретний принтер чи специфічні умови, більше орієнтуючись на широку базу підтримуваних принтерів і гнучкі налаштування.

Що важливо також зазначити, так це відносну простоту використання даної програми, адже слайсери загалом є вузьконаправленими програмами з обмеженим функціоналом, що викреслює більшість функцій, які ми можемо зустрічати в класичних 3D редакторах, що в свою чергу спрощує їх інтерфейс та кількість інструментів, з якими будемо працювати. Також важливу роль в виборі слайсера відіграє його популярність, що збільшує кількість потенційних навчальних матеріалів та спільноту, яка в вільному доступі може поширювати корисні поради та додатки до програми.

4 ПРОЄКТУВАННЯ 3-D МОДЕЛЕЙ МАКЕТУ

4.1 Визначення основних характеристик набору

Першим етапом створення набору є розробка плану та структури елементів, які має передбачати розумне та функціональне значення кожного елемента набору. Задача роботи була в тому, що хоч і повноцінний макет буде складатись з багатьох елементів набору, кожен елемент по окремої має нести свою функцію та значення, кожна будова має бути індивідуальною, і за відсутністю інших елементів все ще бути зрозуміла її функція, наприклад офісна будівля не має потребувати окремого елемента даху чи входу для повноцінного використання [6].

Другим важливим аспектом розробки має бути мінімізування кількості елементів макету, для простішого та дешевшого використання, тобто ми маємо вичеркнути всі елементи, що несуть мінімальну функціональність в створенні макетів, такі як каналізаційні люки, кущі, смітники тощо.

Важливо також було розробити умовну схему-приклад, яка б містила б більшу частину елементів набору, для показової демонстрації та перевірки потреб в зміні чи доопрацюванні різноманіття набору або ж навпаки його скорочення.

Дуже важливим також є огляд на технічні особливості та обмеження розробки, основним з яких є масштаб моделей. Задля уникнення проблем пропорційності елементів, яка є запорукою функціональності ми маємо зберігати максимально точний масштаб під час розробки, який в нашому випадку ми відраховуємо від бажаних розмірів кінцевих друкованих моделей. Оптимальним розміром друкованої моделі для збереження мінімально потрібної деталізації та міцності конструкції для її довговічного використання був обраний розмір 2 сантиметри на один поверх, які в реальному житті можуть варіюватись від конструкції до конструкції між значеннями 2.8 метри до 3.4 метрів, тому обираючи середнє і популярне

значення в 3 метри, враховуючи також товщину стелі та підлоги ми можемо опиратись на масштаб в 1: 150 в нашій розробці.

Варто також зазначити, що параметри масштабу не впливають на принципи моделювання, які застосовуються при створенні моделей, а отже можуть бути змінені як в самій програмі Blender, так і вже на етапах підготовки до друку в слайсері.

Першим етапом в розробці структури опираючи на визначені пріоритети стала mind-мар проекту (рис. 4.1), яка мала б містити список функціональних елементів архітектурного набору.

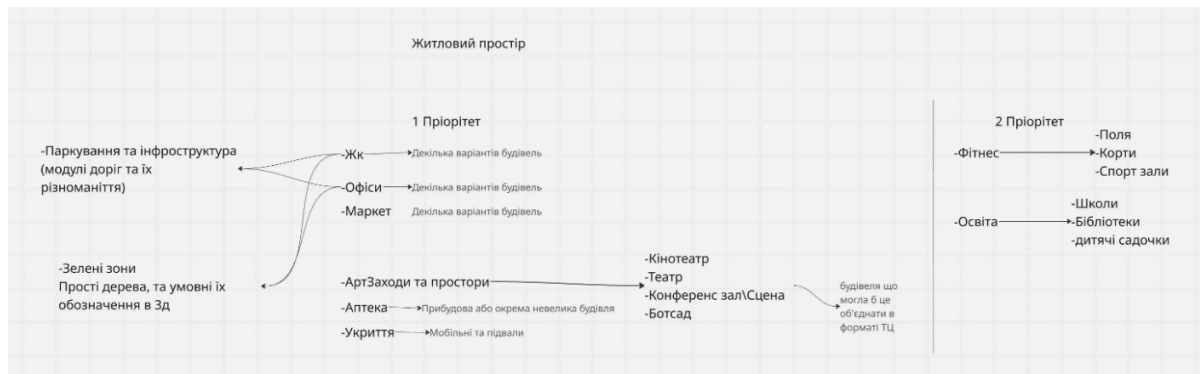


Рисунок 4.1 – Зображення початкової mind-мар

Після цього настав час розробки макету-прикладу за допомогою видозмінених вбудованих примітивів програми. Були розроблені основні блоки майбутнього макету, що мали б містити умовні пропорції відносно один одного.

Також була розроблена площина, що міститиме в собі приклад житлового простору без опори на реальний масштаб та деталізацію, основна задача такого прикладу зрозуміти та наявно зобразити майбутній задум, цей етап блокінгу має виявити наявність потреби в зменшені або збільшені функціональних блоків, задля створення реального макету-прикладу (рис. 4.2).

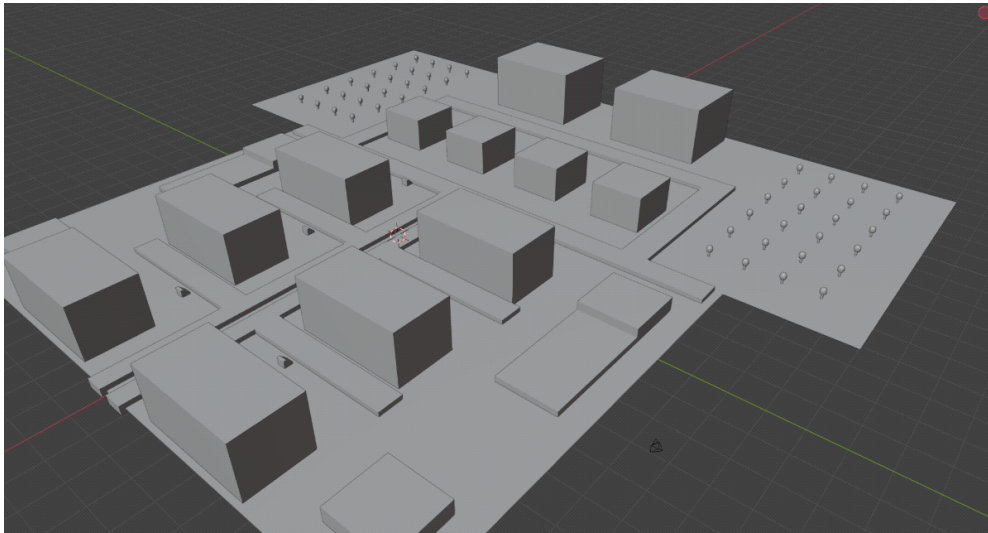


Рисунок 4.2 – Зображення початкової схеми макету-прикаладу

4.2 Створення модулів та функціональних елементів

Після затвердження кількості функціональних елементів, яка в ітозі складалась з:

- двох варіацій житлових будинків (обидва з можливістю модифікації);
- двох варіацій офісних будівель;
- будівлі укриття;
- будівлі школи;
- прибудови до школи (стадіон);
- дитячого садочку;
- маркету;
- двох варіацій мафів або аналогічних невеликих автономних будівель;
- торговельного центру;
- двох варіацій приватних будинків;
- дерева;
- декількох варіацій модулів доріг;

Наступив етап проробки кожного з елементів. Перш за все, поставлена задача мала на меті розробку максимально універсальних функціональних

елементів для ширшого використання, отже першою стадією проробки став збір референсів для кожного з елементів, опираючись на реальні будівлі в суміжних регіонах, за приклад брались новобудови як України, так і країн Європи.

Окремо також варто зазначити, що більшість елементів були спеціально спрощенні для простоти розуміння та для спрощення майбутнього друку, отже максимальним спрощенням піддалися елементи, що мали певний виступ, що в свою чергу створювало нависання частин моделі, що могло привести до ускладнень друку, або створень додаткових підтримок.

Першим розробленим функціональним елементом стали блоки доріг (рис. 4.3), адже макет мав також нести можливість наглядної презентації майбутньої інфраструктури житлового простору, завдяки якому можна було починати окреслювати схему майбутнього прикладу житлового простору. Всі ці елементи також опирались на можливість модульного поєднання їх в повноцінні структури, а також не мали нависань частин моделі.

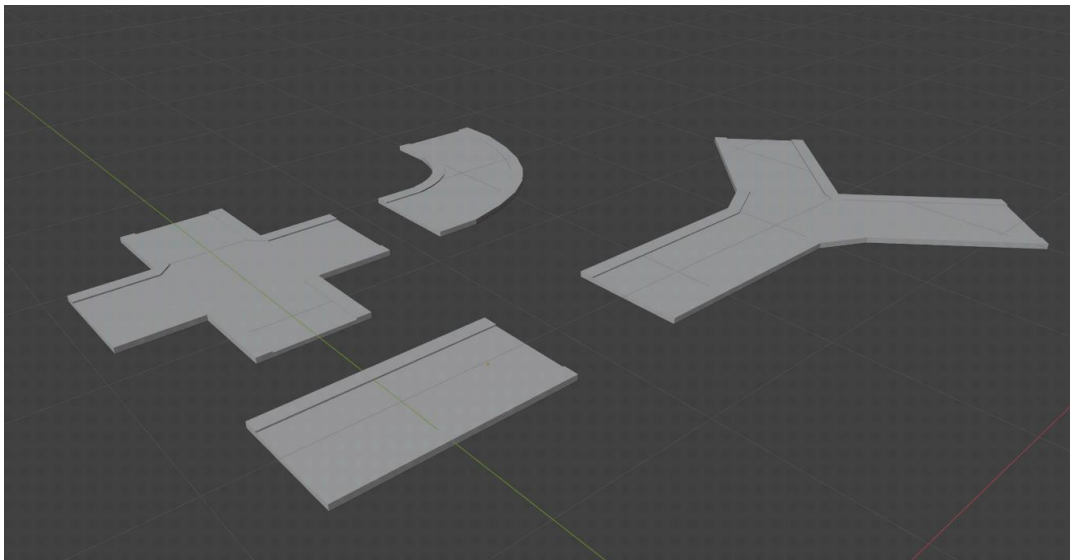


Рисунок 4.3 – Зображення моделей блоків дорожнього покриття

Наступним елементом було обрано створення дерев (рис. 4.4), адже вони несуть в собі досить просту функцію окреслення зелених зон житлового простору (рис. 4.5), а також самі по собі моделі не потребували сильної

деталізації, що спрощувало процес моделювання. Проте через нависання крон дерев над стовпами було прийнято рішення створення більш квадратної форми крон, а також майбутнього експорту моделі у перевернутому вигляді, що виключало потребу створення додаткових підтримок і забезпечення відсутності нависань.

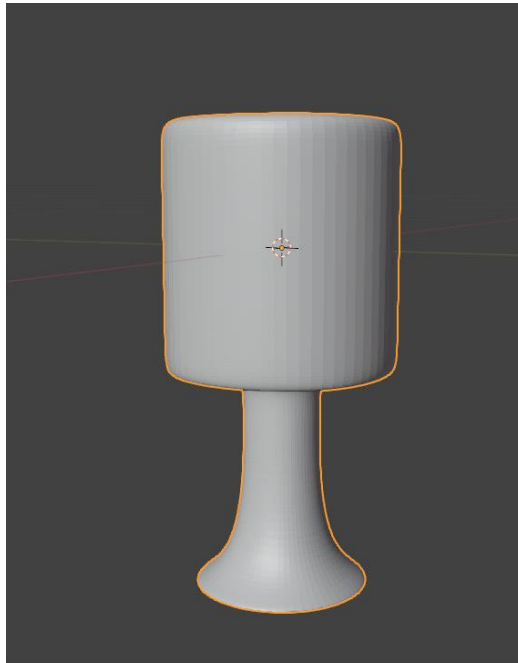


Рисунок 4.4 – Зображення моделі дерева

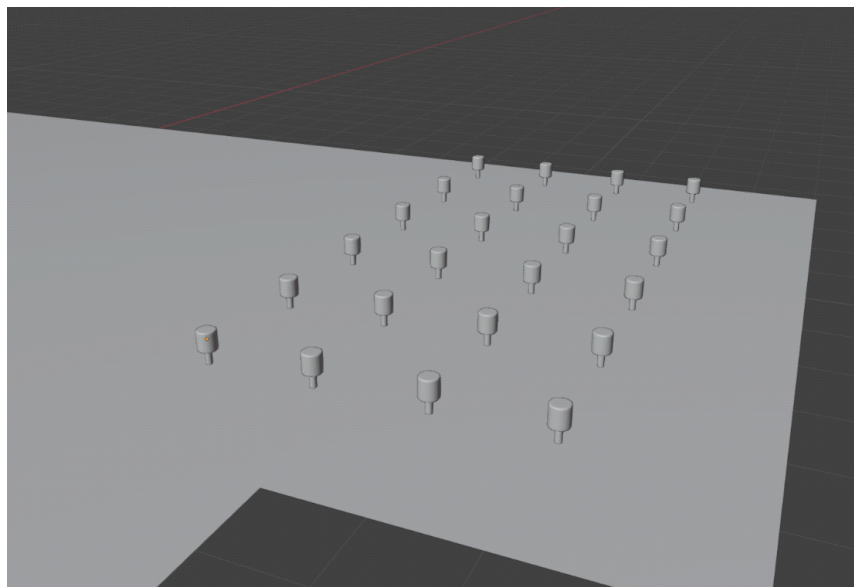


Рисунок 4.5 – Приклад використання моделей дерев в якості позначення зеленої зони

Наступною частиною набору стали житлові будівлі, вони відрізнялись від всіх інших можливістю модифікації, а саме мали мати плоскі дахи, та однакові висоти першого і останнього поверху, задля забезпечення можливості поєднувати вертикально такі будинки між собою, щоб створити можливість макетування високоповерхівок, проте кожна така будівля самостійно також була функціональною. Було прийнято рішення розробки двох варіацій житлових будівель (велика будівля на шість поверхів та три під'їзди, а також менша на 4 поверхи та два під'їзди) (рис. 4.6).

Велика будівля хоч і передбачала наявність ліфтової шахти на даху, проте спеціально була спрощена задля можливості макетування високоповерхівок на своїй основі.

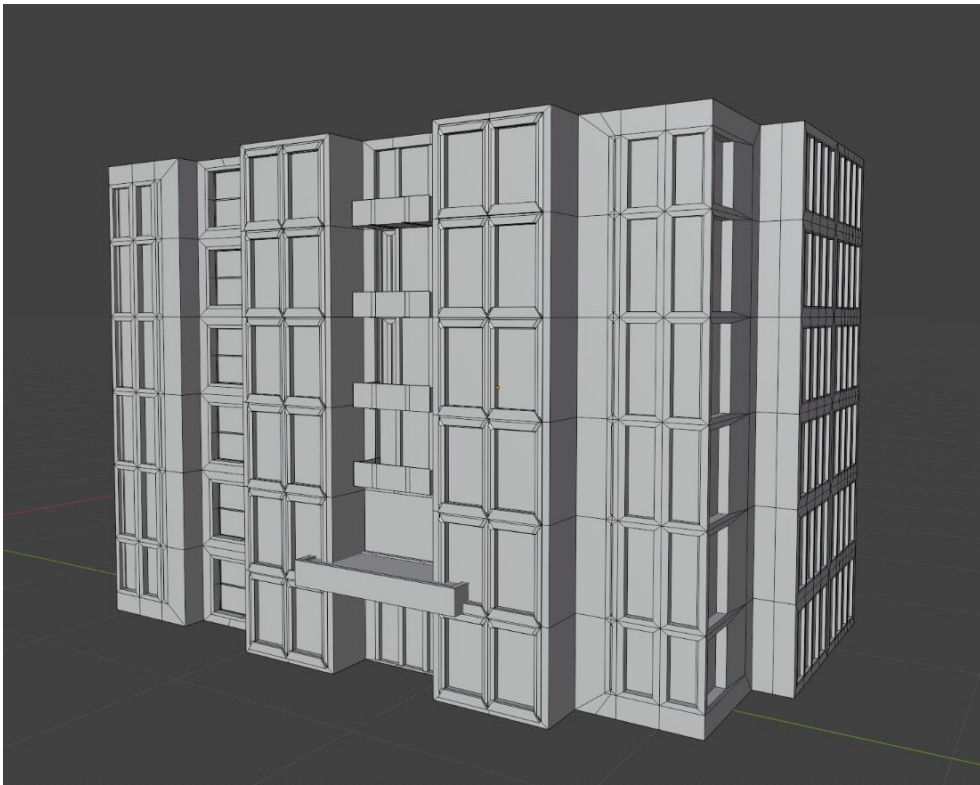


Рисунок 4.6 – Зображення перших прототипів житлових будинків без врахування факторів друку

Після створення перших прототипів йшов етап їх обробки та доопрацювання орієнтуючись на такі важливі фактори як мінімізація дрібних випуклостей чи дірок, що забезпечить мінімальне використання підтримок

при друкові, що потенційно вбереже від проблемних місць деталізації та здешевить розробку за рахунок меншого використання пластику (рис. 4.7).

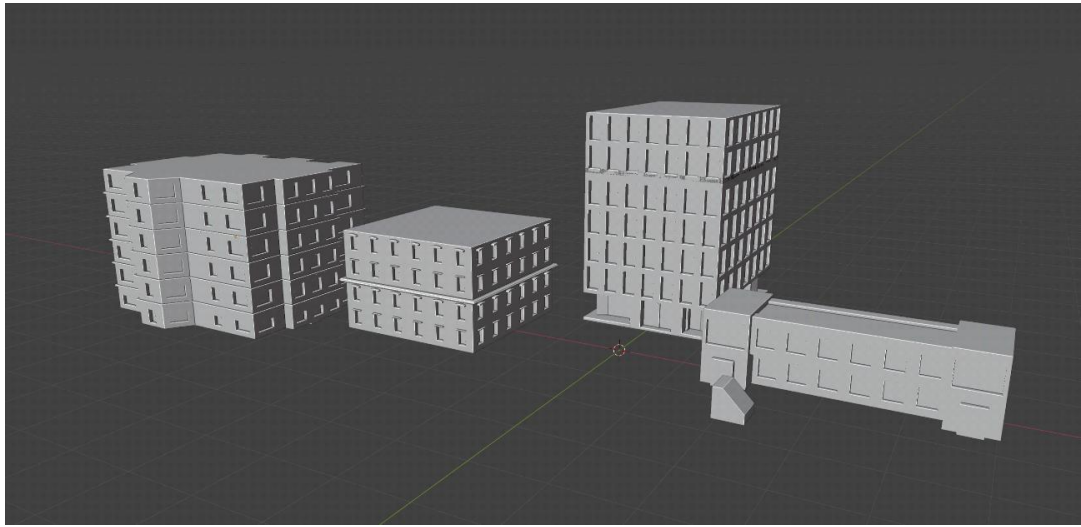


Рисунок 4.7 – Зображення оброблених моделей житлових будинків, офісних будівель та укріття враховуючи технічні обмеження друку

Враховуючи ті самі вимоги були створені додаткові модулі школи, шкільний стадіон та дит. садок (рис. 4.8), а також всі інші будівлі враховуючи мафи (рис. 4.9), маркет (рис. 4.10), торговельний центр (рис. 4.12) та приватні будинки (рис. 4.11).

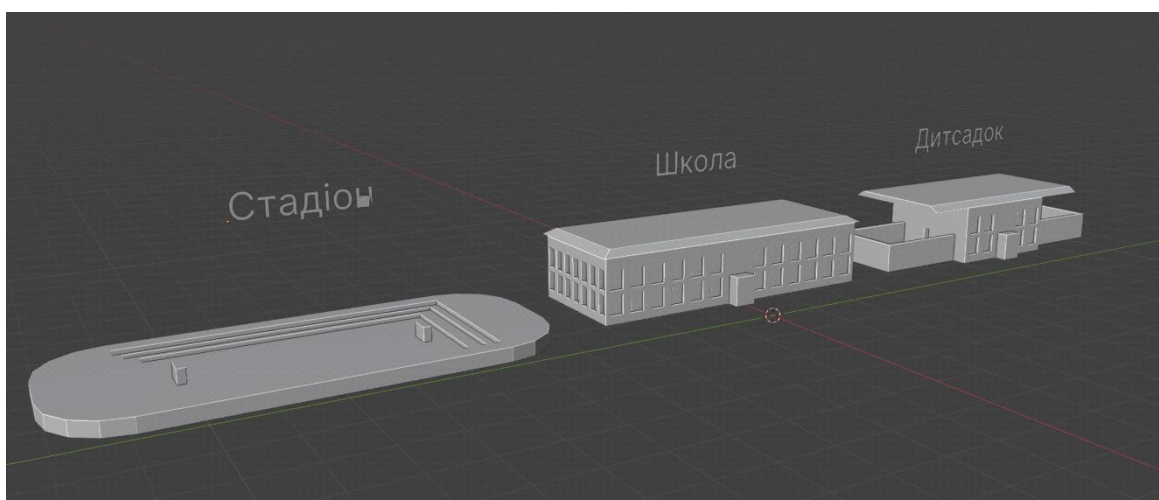


Рисунок 4.8 – Зображення моделей дитсадку, школи та стадіону

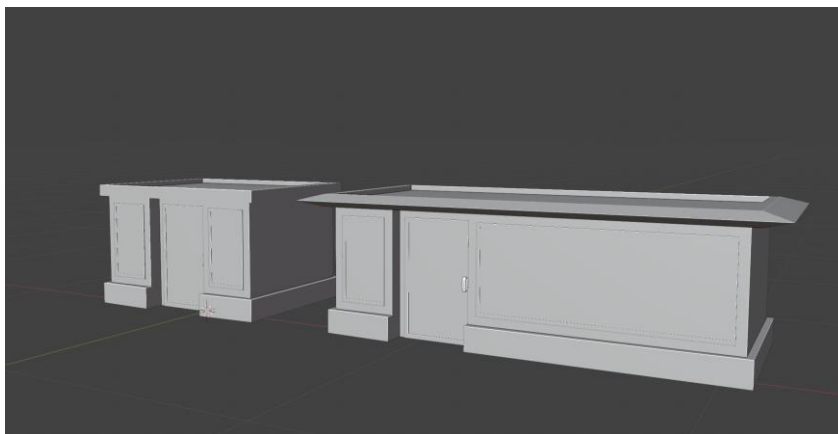


Рисунок 4.9 – Зображення моделей варіацій мафів

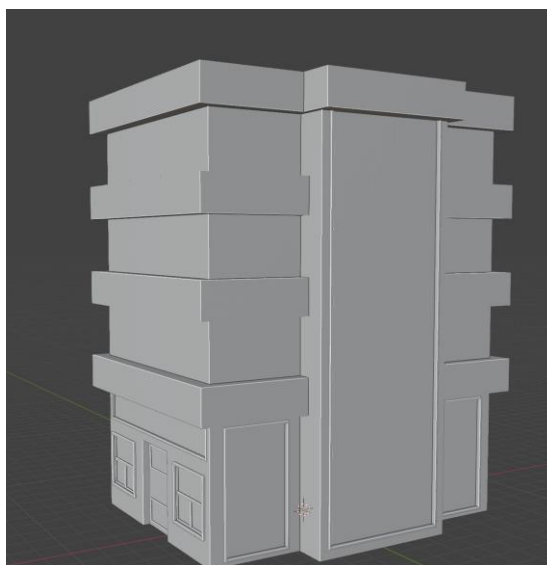


Рисунок 4.10 – Зображення моделі магазину

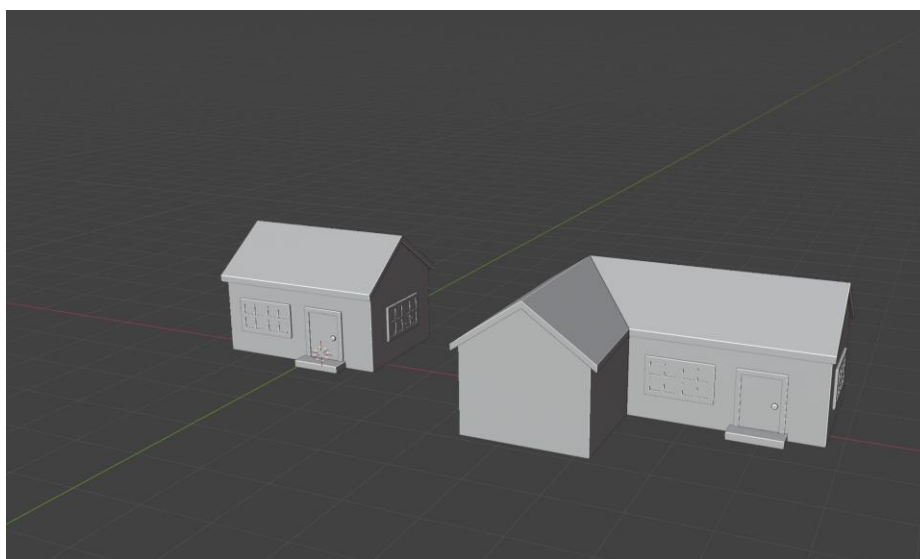


Рисунок 4.11 – Зображення моделей варіацій приватних будинків

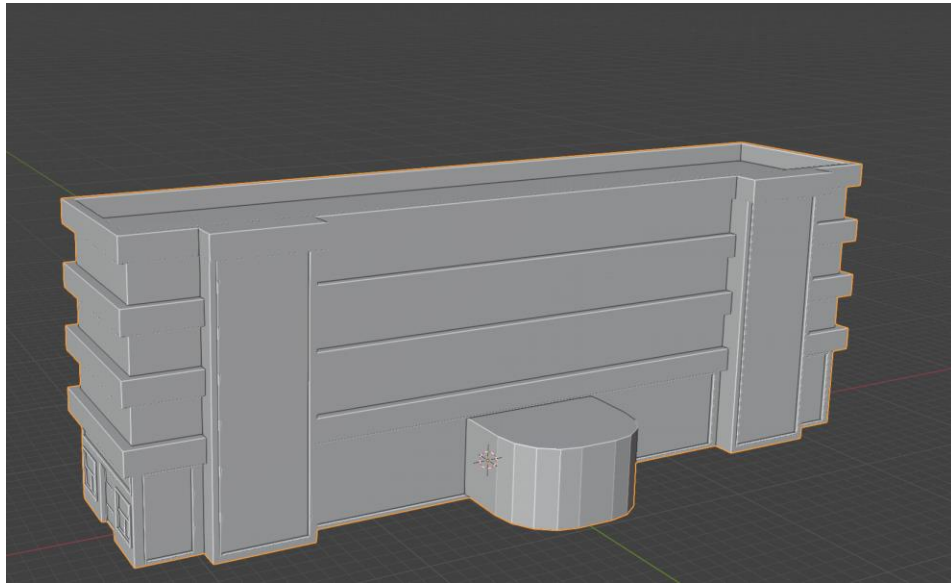


Рисунок 4.12 – Зображення моделі торговельного центру

4.3 Перевірка відповідності технічним вимогам

Після того як основні моделі готові та відповідають очікуванням, моделі мають пройти декількоетапну перевірку кожного елемента для друку, програмне забезпечення блендер надає такі інструменти, основними серед них є інструменти масштабування, перевірки нормалей та перевірки правильності геометрії.

Якщо розглядати кожен з них більш детально, ми можемо почати з інструментів масштабування, в програмному 3D середовищі blender існують два види масштабування, перше з яких внутрішній, а другий точний, перший відповідає саме за пропорційність моделей відносно них самих, тобто якщо ми візьмемо один з базових примітивів програми і розтягнемо його не в режимі редагування (edit mode) то ми можемо прослідкувати зміну його пропорцій за трьома основними осями (X, Y, Z) у вікні properties (рис. 4.13).

Якщо періодично не анулювати ці параметри ми можемо стикнутись з некоректною роботою як внутрішніх інструментів програми, наприклад bevel, так і проблемами під час експорту моделі в інші програми. Ануляція цих параметрів відбувається за допомогою внутрішньої функції apply(комбінація клавіш cntr+ a) (рис. 4.14).

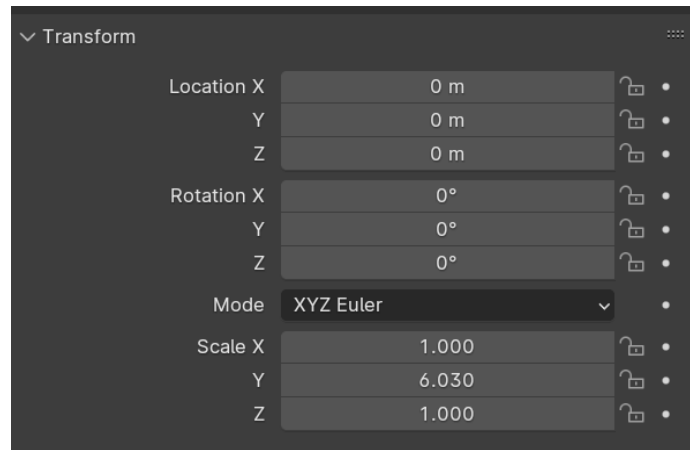


Рисунок 4.13 – Зображення частини вікна, що відповідає за внутрішнє масштабування моделей

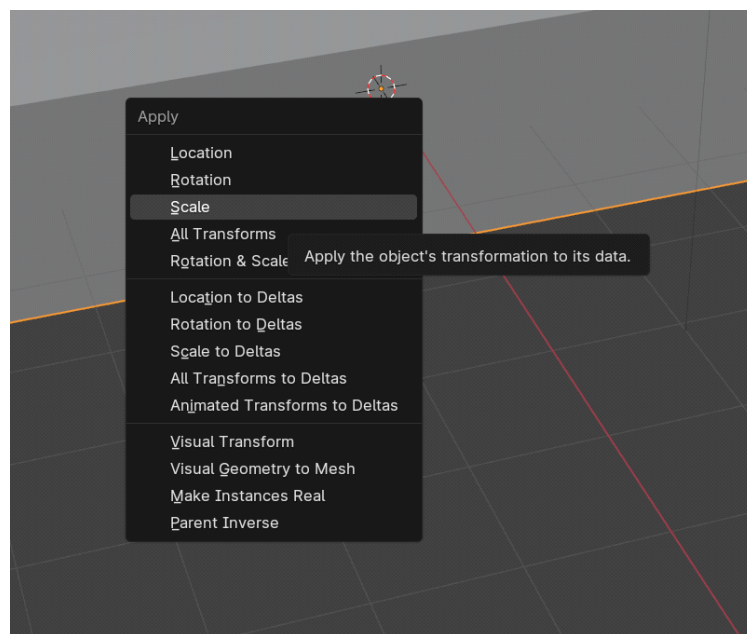


Рисунок 4.14 – Приклад застосування функції Apply

Потім вибір, який саме параметр ми хочемо скинути, в нашому випадку це параметр scale). В випадку коли параметр scale для нашої моделі в усіх координатах дорівнює одиниці, це значить, що програма коректно сприймає пропорції нашої моделі.

Також, окрім внутрішнього масштабування моделі в Blender передбачено роботу з реальними параметрами розмірів об'єктів (рис. 4.15). На початку роботи програми при кожному запуску ми можемо обирати одиниці вимірювання файлу, початкові ж вказані в метрах.

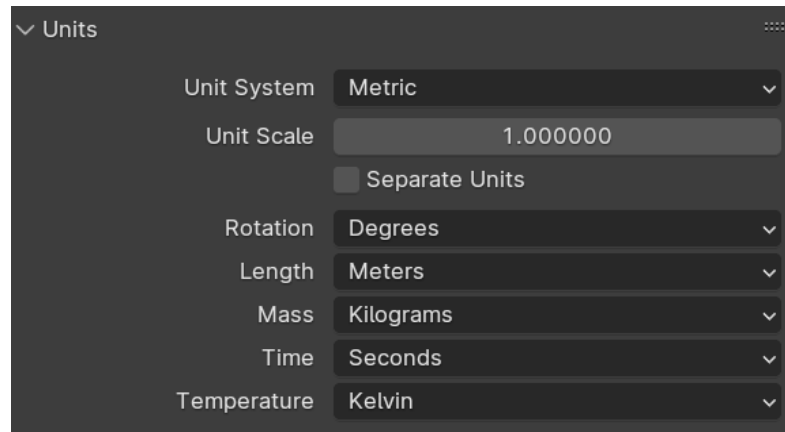


Рисунок 4.15 – Зображення частини вікна, що відповідає за параметри одиниць вимірювання програми

Наступним етапом перевірки йде перевірка нормалей, ця перевірка обов'язково має виконуватись після уточнення масштабів моделі, адже зміна масштабу або його скид через функцію “Apply” може змінювати напрям нормалей полігонів, з яких складається модель. Сама ж перевірка проходить через функцію “Face orientation”, таким чином кожен полігон приймає один з двох кольорів, синій або червоний, де синій вказує на правильну орієнтацію нормалі, а червоний на неправильну, зазвичай прийнято вважати що всі червоні нормалі, мають бути направлені в середину моделі, а сині назовні (рис. 4.16).

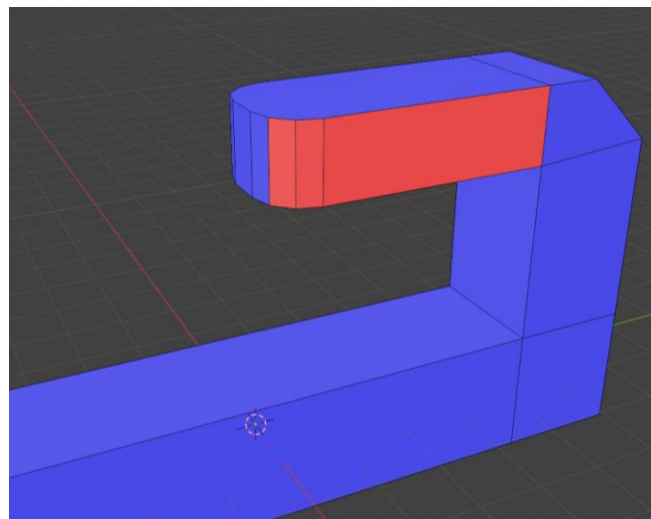


Рисунок 4.16 – Приклад моделі, в якій присутні полігони з неправильною орієнтацією нормалей

Виправити такі полігони ми можемо за допомогою вибору кожного такого полігона і застосування функції “Normals”-”Flip”, якщо ж таких полігонів багато на моделі, то ми можемо скористатись функцією “Select similar” і параметром “Normal”, які допоможуть автоматично обрати всі подібні за конкретним параметром полігони, в нашому випадку всі “вивернуті” полігони.

Ця перевірка критично важлива для нас, адже деякі принтери можуть сприймати полігони з неправильною орієнтацією нормалей як прозорі, або не існуючі, що створить серйозні проблеми при друку.

Окрім попередній двох перевірок, остаточною завжди стає перевірка рівності моделі, адже в процесі моделювання інколи можуть виникати ситуації, в яких певні точки, полігони або грані зсунулись (рис. 4.17-4.18), тим самим утворивши не рівну поверхню, що в майбутньому може спричинити нависання елементів моделі, що потребуватиме додаткових підтримок при друку, тому бажано всі полігони та грані, що лежать на одній площині порівняти ще раз остаточно перед експортом моделі.

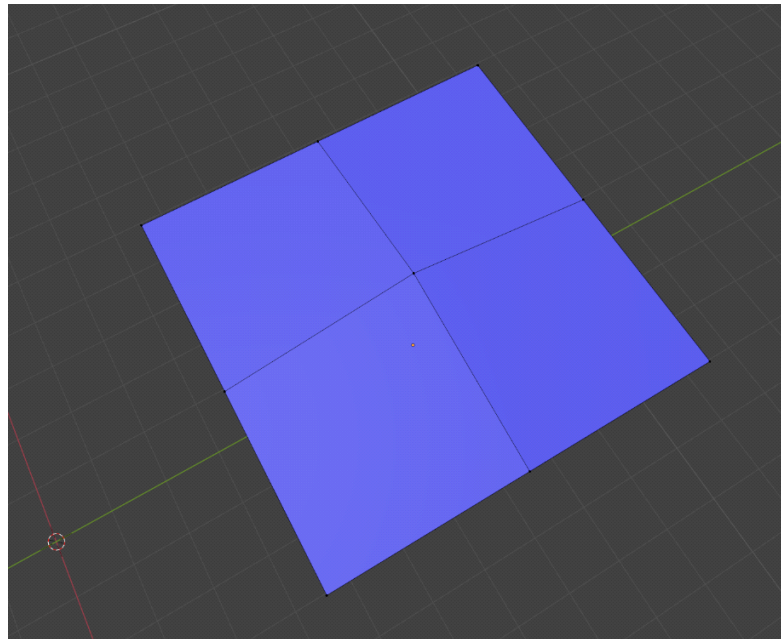


Рисунок 4.17 – Приклад моделі з непомітними полігонами, які не лежать в одній площині

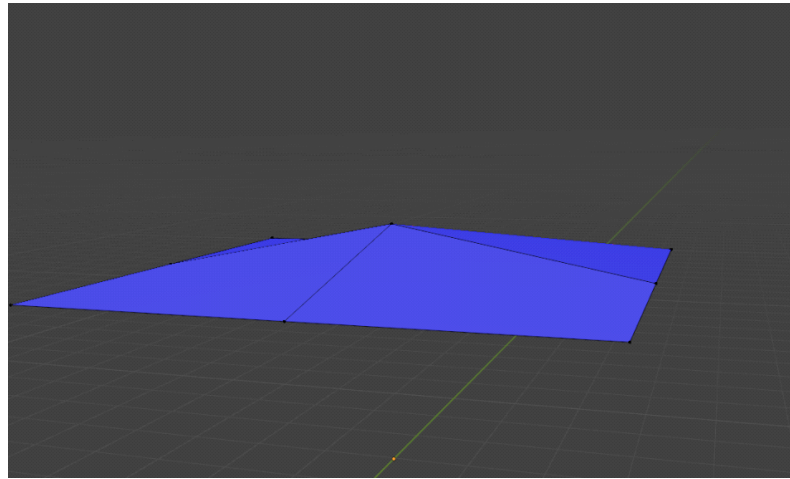


Рисунок 4.18 – Приклад моделі з полігонами, які не лежать в одній площині з іншого ракурсу, де це є більш очевидним

Для виправлення подібного роду проблем ми можемо скористатись декількома способами, основний з яких вбудований аддон Blender, під назвою Loop Tools, що має функцію вирівнювання-Flatten (рис. 4.20).

Викликати цей аддон ми можемо в режимі редагування моделі (Edit mode), попередньо вибравши всі потрібні нам для вирівнювання полігони і натиснувши праву кнопку миші (рис. 4.19).

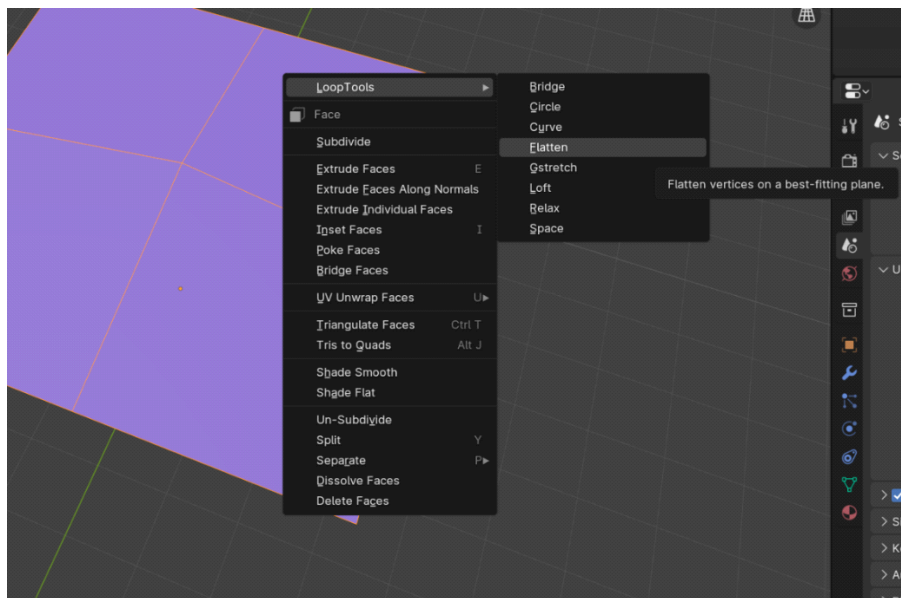


Рисунок 4.19 – Приклад застосування функції Flatten з вбудованого аддону Loop Tools

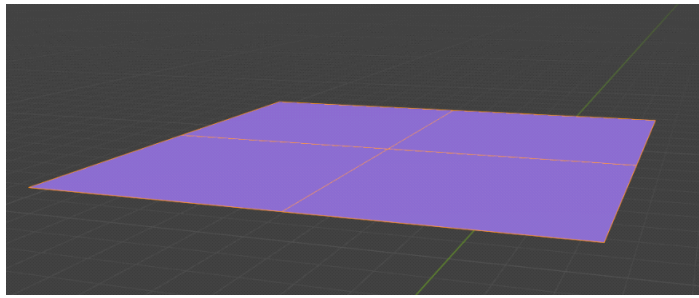


Рисунок 4.20 – Приклад результату роботи функції Flatten

Останнім етапом підготовки моделі є експорт моделі в певний формат (рис. 4.21), найпоширенішим з яких є .STL, що використовується більшістю принтерів. Цей формат не зберігає параметри анімацій, текстур чи фізичних властивостей, також він не може зберігати елементи створення за допомогою систем часток, такі як волосся, трава, тучі тощо. Через це цей формат не має широких параметрів налаштування.

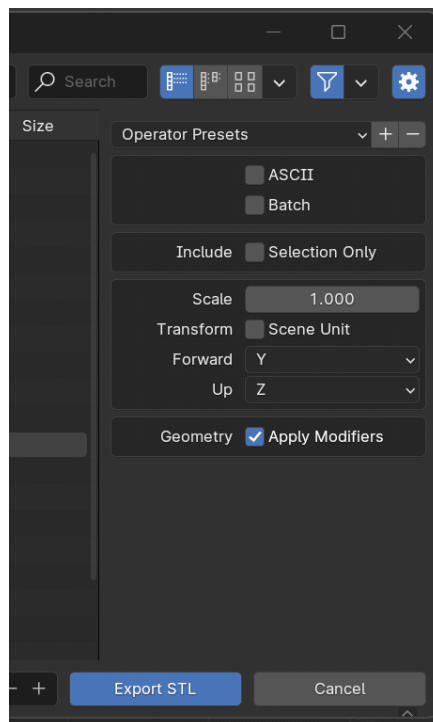


Рисунок 4.21 – Приклад параметрів експорту моделей

Проте бажано все таки поставити галочки на параметрі “Apply modifiers” який автоматично застосує всі не застосовані модифікатори програми, проте все таки бажано застосовувати їх вручну перед усіма

перевірками, адже деякі модифікатори можуть змінювати параметри орієнтації нормалей чи масштабу. Також варто впевнитись в осях, які вказані при експорті, (Forward Y/Up Z), які вказують нам, де знаходиться перед моделі та верх, що важливо при друкуванні, адже деякі моделі варто друкувати на боці, задля запобігання створення нависань та дірок в моделі. Важливо також перевіряти параметр Include, який вказує нам чи буде експортуватись всі моделі файлу чи тільки обрані в даний момент.

Після проходження всіх етапів перевірки ми отримуємо .STL файли кожного елемента архітектурного набору, що завчасно мінімузують кількість потенційних проблем друку.

4.4 Підготовка до друку

Останнім пунктом в підготовці моделей до друку є робота в слайсері, який ми обрали раніше, а саме Ultimaker Cura, який забезпечить створення підтримок для моделей в необхідних місцях, позицію їх друку [5, 11] (як було з деревами, де бажаною позицією була перевернута версія моделі, адже таке положення забезпечувало друк без підтримок та здешевшувало виробництво).

Перше, що нам потрібно зробити в програмі-це вибір принтера, при першому запуску програма нам це запропонує в окремому вікні (рис. 4.22).

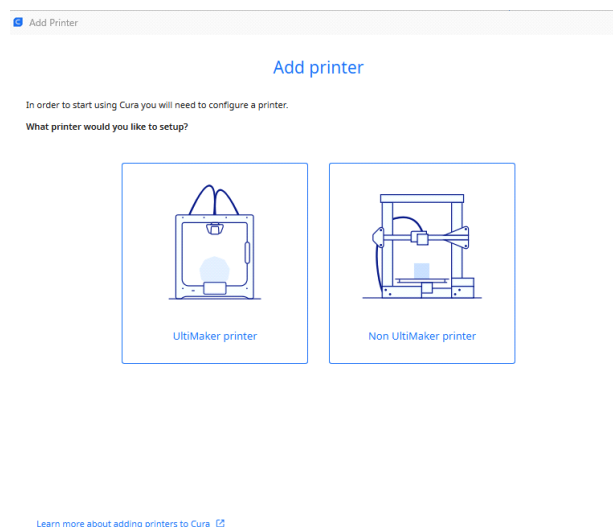


Рисунок 4.22 – Приклад вікна вибору принтера

Тут нам потрібно обрати Non-ultimaker printer, для прикладу ми будемо працювати з одним з запропонованих, а саме Creality Ender 5Plus.

Після вибору принтера нам потрібно по одному завантажити модель, яку будемо друкувати. Це ми можемо за допомогою кнопки вгорі зліва у вигляді папки та обрати .STL файл нашої моделі, в нашому прикладі це буде дерево (рис. 4.23).

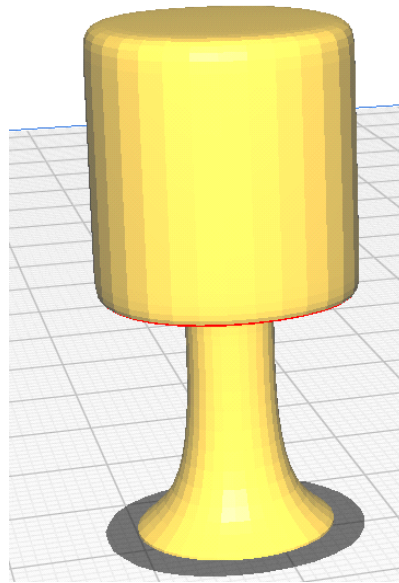


Рисунок 4.23 – Приклад імпорту моделі в середовище слайсеру

Варто також враховувати, що якщо ми помилились з масштабами або ж збили їх при експорті моделей, ми можемо фінально налаштувати їх тут. Що також важливо так це те, що слайсери автоматично анулюють функцію Smooth в Blender, що робила ефект згладженості моделей, завдяки параметрам Real-time Render, створюючи ілюзію плавності граней моделі. Тому ми можемо збільшувати параметр модифікатора Subdivision surface під час екпорту, і зменшувати при роботі над моделями для економії ресурсів нашого ПК.

В програмі також присутні інструменти трансформації, аналогічні Blender, серед яких Move (рух моделі), Rotate (обертання) та Scale (зміна масштабу з прив'язкою до метричної системи). Тому навіть якщо ми

експортували наше дерево в початковій позиції, ми можемо його перевернути вже в слайсері (рис. 4.24).

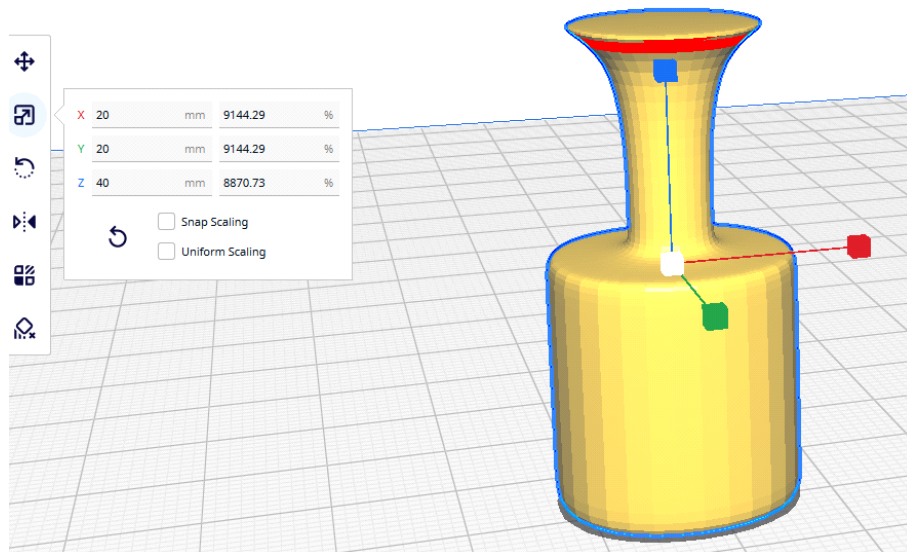


Рисунок 4.24 – Приклад зміни масштабу моделі завдяки вбудованим інструментам маніпуляцій

Після всіх маніпуляцій з положенням та розмірами моделі, ми маємо налаштувати самі параметри друку, які буде зручно передавати іншим оператором принтерів. Першим чином основним параметром є вибір пластику вгорі екрану-в нашому випадку це буде PLA пластик так як він забезпечує максимальну твердість та довговічність.

Після цього нам потрібно перевірити детальні налаштування друку (рис. 4.25-4.26).

Нам тут важливі такі параметри:

- Quality-бажано виставляти 0.2, це забезпечить хороший баланс між швидкістю та якістю друку;
- Infill-параметр контролю якості, який відповідає за тип розділення слоїв моделі, бажано виставити 20 та Lines;
- Material-відповідає за температуру при якій буде розтоплюватись пластик, бажано виставити 195 градусів;

– Support, так як ми маємо нависаючу підніжку дерева, нам варто виставити галочку на параметрі generate support, це створить автоматичні підтримки для нависаючих елементів;

– Build plate adhesion-створює спеціальну платформу на якій буде створюватись наша модель, допомагає відділити її потім від поверхні.

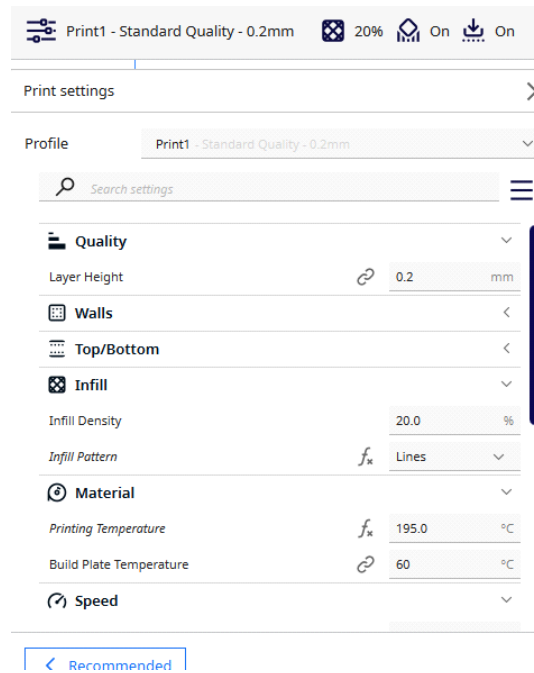


Рисунок 4.25 – Приклад частини налаштувань друку

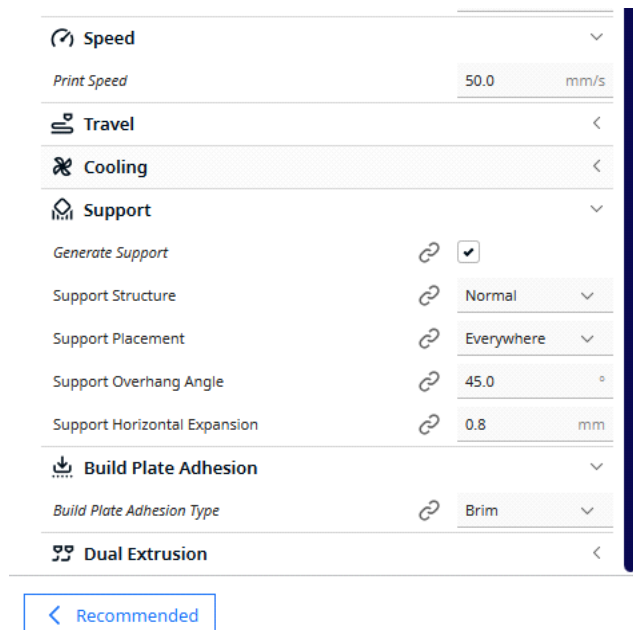


Рисунок 4.26 – Приклад частини налаштувань друку

Після того як ми налаштували всі наші параметри, ми можемо натиснути кнопку Slice, яка розрахує час друку та вагу майбутнього елемента макету. Також ми можемо перейти в вкладку Preview, аби побачити як програма побудувала нам підтримку, а за допомогою слайдера справа можемо побачити візуалізацію нашого майбутнього друку (рис. 4.27).

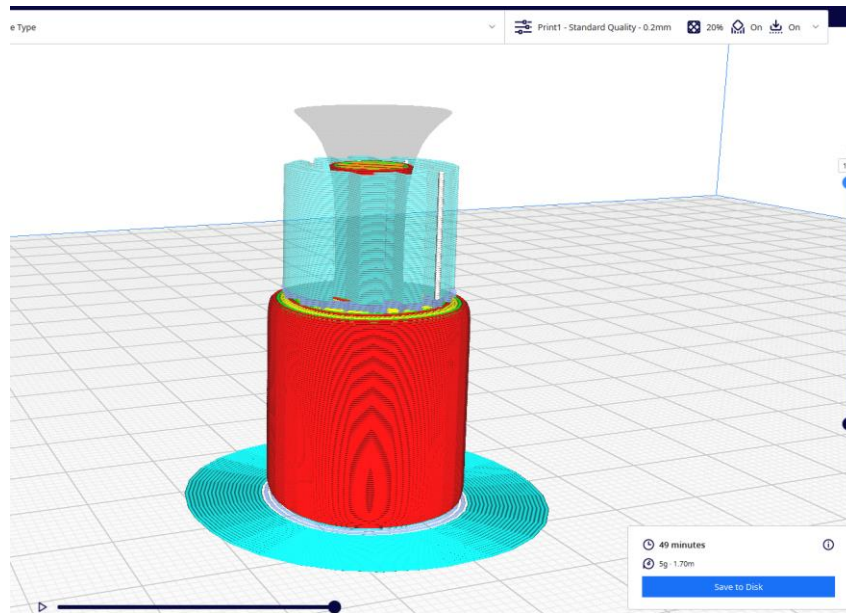


Рисунок 4.27 – Приклад візуалізації друку у вікні preview

Важливо також зазначити, що ми можемо зберегти файл з нашими налаштуванням для передачі друку третім особам, а також той факт, що ми можемо завантажувати більш ніж одну модель для друку одночасно, що дозволить зекономити час на друку та повторному налаштуванні файлів, а також дозволить зберігати наші моделі більш структуровано.

4.5 Додання готових елементів до електронної бібліотеки

Після того як всі елементи були оброблені і переведені в зручний формат .STL, ми можемо також розширити сфери поширення наших моделей в електронному форматі [7], а саме в електронній бібліотеці «Генератор 3D Моделей». Для цього нам потрібно щоб кожен з наших елементів був експортований індивідуально з збереженням масштабів. В приведених сайтах

поширення подібних моделей потрібно пройти авторизацію та виставити певні параметри для більш зручної фільтрації, серед них можуть бути наступні:

- тематика моделей (може бути фентезі, наукова, техніка, тощо);
- бажаний метод використання (ігрові моделі, моделі архітектурної візуалізації, моделі для друку, тощо);
- наявні формати моделей (якщо це ігрові моделі, там можуть бути представлені декілька варіантів їх форматів для різних рушіїв);
- полігоонаж моделей (може бути важливою характеристикою для завдань з певними технічними обмеженнями);
- наявність скелетів (релевантно для моделей заточених під анімацію);
- наявність текстур (підходить для використання моделей без подальших модифікацій);
- наявність спеціальних характеристик (розгортка, залежність елементів або інші специфічні властивості).

Все це полегшує пошук для користувачів які потребують моделей під певний вид задач. В даних моделях архітектурного набору бажаним описом для фільтрування будуть наступні характеристики:

- формат-.STL;
- підготовлено до друку;
- архітектурні моделі;
- не мають UV розгортки, матеріалів та текстур;
- не призначені для подальшого анімування.

4.6 Створення версій набору за призначенням

Для більш зручної реалізації архітектурних моделей було прийнято рішення про розділення їх на декілька версій з певним більш специфічним призначенням. Таким чином це дозволить користувачам використовувати специфічні версії набору під їх конкретні задачі, адже вірогідність використання всіх моделей разом є достатньо малою.

Першою версією стала версія під назвою «Максимальна», в якій входять всі моделі, деякі з яких в багатьох екземплярах, адже для побудови житлових просторів потрібно більше ніж один приклад кожної з них. Повні кількість елементів цієї версії складається з:

- будівля торговельного центру-1 штука;
- будівля приватного будинку-8 штук;
- будівля приватного будинку г-подібного-8 штук;
- будівля маркету-2 штуки;
- будівля кіоску-4 штуки;
- будівля кіоску подовження-2 штуки;
- будівля школи-1 штука;
- будівля дитячого садку-1 штука;
- шкільний стадіон-1 штука;
- модуль дороги-30 штук;
- модуль дороги -перехрестя-5 штук;
- модуль дороги -поворот-15 штук;
- модуль дороги у-подібний-4 штуки;
- будівля офісу-3 штuki;
- будівля офісу багатопверхова-4 штуки;
- модуль офісної будівлі-4 штуки;
- будівля укриття-20 штук;
- житлова будівля-8 штук;
- житлова будівля збільшена-6 штук;
- дерево-50 штук.

Другою версією стала варіація «Простий житловий комплекс», яка складалась з офісних будівель, житлових будівель, модулів доріг, дерев та будівель комерційної забудови. Ця версія має на меті макетування сучасних житлових комплексів, які забезпечують зручності для мешканців в плані швидкого доступу до магазинів першої необхідності, організації робочих місць та інфраструктури. В склад версії увійшли:

- будівля маркету-1 штука;
- будівля кіоску-2 штуки;
- модуль дороги-15 штук;
- модуль дороги -перехрестя-2 штуки;
- модуль дороги -поворот-5 штук;
- модуль дороги у-подібний-2 штуки;
- будівля офісу-2 штуки;
- будівля офісу багатоповерхова-1 штука;
- будівля укриття-10- штук;
- житлова будівля-4 штук;
- житлова будівля збільшена-3 штук;
- дерево-20 штук.

Третя версія має назву «Розширений житловий простір», яка повністю базується на минулій версії, проте також включає додатки у вигляді модулів офісних будівель, а також додаткові елементи забудови для дітей. Повний склад версії:

- будівля торговельного центру-1 штука;
- будівля маркету-2 штуки;
- будівля кіоску-3 штуки;
- будівля кіоску подовження-1 штуки;
- будівля школи-1 штука;
- будівля дитячого садку-1 штука;
- шкільний стадіон-1 штука;
- модуль дороги-25 штук;
- модуль дороги -перехрестя-7 штук;
- модуль дороги -поворот-18 штук;
- модуль дороги у-подібний-4 штуки;
- будівля офісу-2 штуки;
- будівля офісу багатоповерхова-2 штуки;

- модуль офісної будівлі-2 штуки;
- будівля укриття-15 штук;
- житлова будівля-6 штук;
- житлова будівля збільшена-4 штук;
- дерево-30 штук.

Четверта версія набору називається «Приватний сектор» і складається з всіх модулів інфраструктури, зазелення та приватних будинків включаючи певні елементи комерційної забудови, повний склад версії:

- будівля приватного будинку-12 штук;
- будівля приватного будинку г-подібного-10 штук;
- будівля маркету-2 штуки;
- будівля кіоску-4 штуки;
- будівля школи-1 штука;
- будівля дитячого садку-1 штука;
- модуль дороги-30 штук;
- модуль дороги -перехрестя-5 штук;
- модуль дороги -поворот-15 штук;
- модуль дороги у-подібний-4 штуки;
- будівля укриття-20 штук;
- дерево-50 штук.

Ця розбивка всього набору на такі функціональні версії забезпечить простіший вибір та зручність використання без потреби друку або зберігання не потрібних блоків, а також дозволить одразу розуміти розміри якого району чи житлового комплексу можуть бути зображені у вигляді макету за допомогою цих блоків.

Це також часто використовується в продажі вже готової продукції для покращення вибору покупців та забезпечення реалізації тільки потрібних товарів, що в свою чергу може дозволити краще аналізувати потреби користувачів для подальшого розвитку набору.

6 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

У ході створення набору архітектурних рішень в 3D виникає суттєва потреба в економічному обґрунтуванні даної реалізації. У навчальних закладах зростає потреба модернізувати шляхи навчання, особливо впровадженням наочних інструментів презентацій та пояснень з боку викладачів. Цей набір має значну економічну перспективу, яку ми і розглянемо.

Першочергова задача проєкту – розробка наочних елементів архітектурного набору, спираючись на розуміння макетування, балансу деталізації та витрат, а також враховуючи всі необхідні дії для забезпечення підготовки цих моделей до друку. В ході роботи планується розробка 20 функціональних елементів, які можуть використовуватись в різних конфігураціях, бути вдосконалені за допомогою додаткових модулів.

Основним матеріалом створення елементів є PLA-пластик, враховуючи ці фактори першочергово буде розрахована собівартість виробу даних елементів.

Основною перевагою такого архітектурного набору є відносна простота реалізації та супутня довговічність, адже на відміну від інших матеріалів PLA-пластик не потребує спеціальних умов зберігання та має чудову зносостійкість. З економічної точки зору важливим також є те, що в розробці задіяні такі програмне забезпечення як Blender та Ultimaker Cura, яке має безкоштовну модель поширення, що суттєво здешевлює реалізацію проєкту.

Прибутком від реалізації можна вважати продаж готової продукції, тобто набору архітектурного макетування з 20 елементів, витратами на які є сама розробка, а основним джерелом фінансування – власний капітал та потенційний прибуток у вигляді відсотків від реалізації продукції.

В той же час джерелом економії є довговічність продукції, адже окрім реалізації достатньо довговічних моделей, проєкт можна реалізувати в якості електронного видання. Порядок розробки комплекту елементів набору

архітектурних рішень складається з наступних етапів: створення ескізів та структури, розробка моделей та підготовка моделей до друку.

Для реалізації проєкту необхідно залучити двох фахівців, а саме оператора друку, який виконує функцію контролю друку та налаштування принтеру та 3D-моделлера, який в свою чергу розробляє моделі та виконує їх початкову підготовку до друку. 3D-моделлер потребує близько 40 годин на опрацювання ескізів та створення готових файлів моделей, включаючи їх багатоетапну перевірку та підготовку до друку, в той час як оператор 3D-друку потребує близько 64 годин, в які входить налаштування принтеру та контроль за самим друком

Мінімальна місячна заробітна плата оператора 3D-друку становить 8000,00 грн (48,00 грн/год), 3D-моделлера – 10200,00 грн (60,00 грн/год).

Розрахунок основної заробітної плати наведено у таблиці 6.1.

Таблиця 6.1 – Розрахунок витрат на заробітну плату

Етап	Вид робіт	Виконавець		Годинна ставка, грн	Тривалість виконання, днів	Заробітна плата, грн
		кількість, ос.	посада			
Початковий	створення ескізів та структури	1	3D-моделлер	60,00	1	480,00
Основний етап	розробка моделей	1	3D-моделлер	60,00	4	1920,00
Заключний	підготовка до друку	1	оператор 3D-друку	48,00	8	3 072,00
Разом					13	5472,00
Додаткова заробітна плата (30 %)						1641,60
Усього						7113,60

За реалізацію високих професійних результатів та результатів, що перевищують очікувану норму чинним законодавством передбачені різноманітні надбавки та компенсації, а також премії за успішне виконання посадових задач та ініціативність, які в межах даної роботи ми можемо вважати близько 30% від основної заробітної плати:

$$4\,752,00 * 0,3 = 1\,425,60 \text{ грн.}$$

Єдиний соціальний внесок становить 22 % від суми заробітної плати та додаткової заробітної плати:

$$7113,60 * 0,22 = 1564,99 \text{ грн.}$$

До інших витрат на розробку архітектурного набору складаються з витрат на електроенергію. Споживна потужність комп'ютера, що використовується для створення 3D-моделей дорівнює 0,5 кВт/год. Вартість електроенергії 4,32 грн/кВт. Час витрачений на створення моделей – 137 годин.

$$4,32 * 104 * 0,5 = 224,64 \text{ грн.}$$

Витрати на обслуговування техніки визначаються виходячи з її вартості та часу експлуатації, після закінчення якого, вона підлягає заміні (цей час, зазвичай, не перевищує 3-х років). Отже, враховуючи, що вартість комп'ютера дорівнює 35000,00 грн, а протягом року техніка використовується 254 робочих дні, отримаємо наступну суму витрат на обслуговування за час виконання проєкту:

$$(35000,00 / (3 * 8 * 254)) * 104 = 597,11 \text{ грн.}$$

Розрахуємо собівартість створення комплексу архітектурних рішень:

$$7113,60 + 1564,99 + 224,64 + 597,11 = 9500,34 \text{ грн.}$$

Розрахуємо суму прибутку від реалізації розробки (виходячи з рівня рентабельності 20 %):

$$9500,34 * 0,2 = 1900,07 \text{ грн.}$$

Розрахуємо ціну розробки комплексу архітектурних рішень без податку на додану вартість (ПДВ):

$$9500,34 + 1900,07 = 11400,41 \text{ грн.}$$

Розрахуємо суму ПДВ, що дорівнює 20 % від ціни без ПДВ:

$$11400,41 * 0,2 = 2280,08 \text{ грн.}$$

Розрахуємо ціну з урахуванням ПДВ:

$$11400,41 + 2280,08 = 213680,50 \text{ грн.}$$

Результати розрахунків наведено у таблиці 6.2.

Таблиця 6.2 – Розрахунок витрат на комплексу архітектурних рішень

№ з/п	Стаття витрат	Сума, грн
1	Основна заробітна плата	5472,00
2	Додаткова заробітна плата	1641,60
3	Єдиний соціальний внесок	1564,99
4	Витрати на обслуговування техніки	597,11
5	Витрати на електроенергію	224,64
6	Собівартість розробки	9500,34
7	Прибуток	1900,07
8	Ціна без ПДВ	11400,41
9	Податок на додану вартість (ПДВ)	2280,08
10	Ціна з урахуванням ПДВ	13680,50

Підсумовуючи, можемо сказати, що команда, яка складається з оператора 3D-друку та 3D-моделлера зможе за 13 днів реалізувати даний проєкт, повну вартість якого оцінено у 13680,50 грн. Очікувана сума прибутку складе 1900,07 грн, що сідчить про доцільність розробки.

ВИСНОВКИ

У ході роботи було розроблено набір архітектурних рішень в 3D, за допомогою програми Blender, що будуть реалізовані в якості кінеститичних моделей для освітніх цілей.

В рамках роботи було досягнуто наступних цілей:

- опрацьований масштаб моделей в рамках початкової підготовки до друку;
- розроблено план та список моделей для конструктора, передбачено їх модифікацію, взаємозаміну та зручність;
- створено набір моделей та сцену-приклад майбутнього макету;
- створено моделі будівель, у які входили житлові будинки, офісні побудови, в майбутньому були створені приватні будинки, укриття та різноманітні додатки до вже існуючих моделей;
- створено набір супутніх моделей оточення, дерева, модулі доріг, за'їздів, ви'їздів, наружні меблі;
- перевірено моделі на помилки до друку, виправлено нормалі, топологію, замкнутість моделей, наявність критичних виступів або вступів на моделях;
- експорт файлів моделей в формат Stl;
- завантажено в електронну бібліотеку для загального користування.

Отриманий набір є функціональним інструментом для презентацій, навчання, зручним способом комунікації та наочної візуалізації архітектурних рішень з можливостями розширення, модифікації, видозмінення та модульності.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. ДСТУ 3008:2015. Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлювання. Вид. офіц. Київ, 2016. 31 с.
2. ДСТУ 8302:2015. Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання. Вид. офіц. Київ, 2016. 16 с.
3. User manual for Blender 4.4 URL: <https://docs.blender.org> (дата звернення: 27.05.2025).
4. Autodesk official community and problem-solving resources URL: <https://www.autodesk.com/community> (дата звернення: 27.05.2025).
5. 3D printing knowledge and latest updates for Ultimaker Cura URL: <https://ultimaker.com/learn/> (дата звернення: 27.05.2025).
6. Васильченко О.В. Основи архітектури та архітектурних конструкцій: навч. посіб. Харків 2007. 256 с.
7. Їлмаз Н., Теляшенко Я., Козуб П. Генератор 3D моделей. URL: <https://scigen3d.icfk.org> (дата звернення: 27.05.2025).
8. Методичні вказівки з виконання кваліфікаційної роботи для студентів денної та заочної форми навчання першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 186 "Видавництво та поліграфія" за освітньою програмою "Видавничо-поліграфічна справа" / В.П. Ткаченко, А.В. Бізюк, О.В. Вовк, І.М. Єгорова, В.Ф. Челомбійко. Харків: ХНУРЕ, 2020. 68 с.
9. Прахов А. Самовчитель blender 2.7. Київ - Україна : ТД, 2016. 400 с.
10. Чеботарьова І. Системи управління кольором: конспект лекцій. Харків : ХНУРЕ, 2016. 102 с.
11. Horvath J., Cameron R. Mastering 3D printing: a guide to modeling, printing, and prototyping. New York : Apress L. P., 2020. 347 p.
12. M. G. Introduction to blender 3.0. learn organic and architectural modeling, lighting, materials, painting, rendering, and compositing with blender. New York : Apress, 2022. 466 p.