

Міністерство освіти і науки України  
Одеський національний технологічний університет  
Кафедра комп'ютерної інженерії



**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА  
ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ**

**на тему** Створення реалістичної 3D моделі методом  
(назва кваліфікаційної роботи згідно наказу ОНТУ)  
фотограмметрії

Здобувача Кравченко О.В.  
(прізвище, ініціали)

4 курсу 542a групи

Керівники: к.т.н., доц. Шестопалов С.В.  
(посада, прізвище та ініціали)  
ст. викл. Жуковецька С.Л.  
(посада, прізвище та ініціали)

Консультанти: \_\_\_\_\_  
(посада, прізвище та ініціали)  
Phd, ст.викл. Богданов О.О.  
(посада, прізвище та ініціали)

**Кваліфікаційна робота допускається до захисту**

Рішення кафедри від 05.06 2024 р., протокол № 8

Завідувач кафедри комп. інженерії \_\_\_\_\_ Сергій АРТЕМЕНКО  
(назва кафедри) (підпис) (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Одеса – 2024 рік

# ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет комп'ютерної інженерії, програмування та кіберзахисту  
Кафедра комп'ютерної інженерії  
Ступінь вищої освіти бакалавр  
Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»  
Освітня програма Розробка ігор та інтерактивних медіа у віртуальній  
реальності

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Зав. кафедри комп'ютерної інженерії  
Сергій АРТЕМЕНКО  
« 30 » серпня 2023 року

## ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

*Кравченко Ольги Вікторівни*

1. Тема роботи Створення реалістичної 3D моделі методом фотограмметрії

Затверджена наказом університету від « 30 » серпня 2023 р., наказ № 442-03

2 Термін здачі здобувачем закінченої роботи 28 травня 2024 р.

3. Вихідні дані роботи

1. ПЗ для фотограмметрії Reality Capture 2. ПЗ для фотограмметрії Agisoft Metashape

3. ПЗ для фотограмметрії 3DF Zephyr 4. ПЗ для фотограмметрії Meshroom

5. Графічний редактор Blender 6. Графічний редактор Adobe Photoshop

7. Інструмент для ретопології Instant Meshes 8. ПЗ для анімації та візуальних ефектів After

9. Онлайн-інструмент для графічного дизайну Canva

4. Перелік питань, які потрібно розробити

1. Вступ. 2. Аналіз предметної області. 3. Проектування.

4. Реалізація. 5. Загальні висновки.

6. Економічні розрахунки. 7. Охорона праці.

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

Слайд 1. Мета, об'єкт, предмет, новизна. Слайд 2. Актуальність. Слайд 3. Пайплайн

Слайд 4. Програмні засоби. Слайд 5. Переваги та недоліки ПЗ. Слайд 6. Оптимізація

Слайд 7. Доопрацювання моделей. Слайд 8. Додаткові інструменти

Слайд 9. Економічні розрахунки. Слайд 10. Загальні висновки. Слайд 11. Результат

6. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи, що стосуються їх

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
<i>Економіка</i>	<i>Phd, ст. викл. Богданов О.О.</i>		
<i>Охорона праці</i>	<i>ст. викл. Жуковецька С.Л.</i>		
<i>Нормоконтроль</i>	<i>ст. викл. Жуковецька С.Л.</i>		

7. Дата видачі завдання 30.08.2023

Керівники Сергій ШЕСТОПАЛОВ

Світлана ЖУКОВЕЦЬКА

Завдання прийняв до виконання Ольга КРАВЧЕНКО

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	<i>Дослідження предметної області</i>	<i>25.08.2023</i>	
2.	<i>Вибір програмного забезпечення</i>	<i>25.11.2023</i>	
3.	<i>Постановка завдання</i>	<i>07.02.2024</i>	
4.	<i>Проектування</i>	<i>01.03.2024</i>	
5.	<i>Реалізація</i>	<i>24.03.2024</i>	
6.	<i>Економічні розрахунки</i>	<i>15.05.2024</i>	
7.	<i>Підготовка розділу охорони праці</i>	<i>15.05.2024</i>	
8.	<i>Оформлення пояснювальної записки</i>	<i>27.05.2024</i>	
9.	<i>Оформлення графічної частини</i>	<i>27.05.2024</i>	

Здобувач-дипломник Ольга КРАВЧЕНКО

Керівники роботи Сергій ШЕСТОПАЛОВ

Світлана ЖУКОВЕЦЬКА

*Несу відповідальність за ідентичність електронного та друкованого варіантів кваліфікаційної роботи, даю згоду на обробку персональних даних та не заперечую проти розміщення кваліфікаційної роботи на офіційних web-ресурсах ОНТУ.*

*Підтверджую, що в кваліфікаційній роботі відсутні порушення норм академічної доброчесності.*

Здобувач-дипломник Ольга КРАВЧЕНКО

## АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота присвячена створенню реалістичних 3D моделей реальних об'єктів різних розмірів, за допомогою фотограмметрії. Цей метод дозволяє відтворювати об'єкти у 3D середовищі на основі інформації отриманої з фотографій. Цей метод на відміну від інших методів моделювання економить час і дозволяє відтворювати реальні об'єкти.

В першому розділі розглянуті варіанти створення 3D моделей, поняття фотограмметрії. Також розглянуто програмні засоби, які будуть використовуватися для реалізації.

В другому розділі сформоване технічне завдання, розроблений пайплайн роботи. Розглянуто методи для подальшої оптимізації отриманих моделей.

У третьому розділі обґрунтовано вибір програмного забезпечення та описано процес роботи з кожним. Проведено аналіз, який демонструє недоліки різних ПЗ. Також описано процес оптимізації та доопрацювання моделей. Використання моделей для подальшої роботи.

У четвертому розділі проведена оцінка ефективності використання методу фотограмметрії. У п'ятому розділі розглянуто питання охорони праці.

Результатом роботи є демонстраційний ролик з використанням відтворених моделей реальних об'єктів. У якому демонструються відтворені та допрацьовані частини.

**Ключові слова:** фотограмметрія, набір фото, вирівнювання, хмара точок, *Reality Capture, Agisoft Metashape, 3DF Zephyr, Meshroom, Blender.*

## **ABSTRACT**

*The qualification work is devoted to the creation of realistic 3D models of real objects of various sizes using photogrammetry. This method allows you to reproduce objects in a 3D environment based on information obtained from photographs. This method, unlike other modeling methods, saves time and allows you to reproduce real objects.*

*The first section discusses options for creating 3D models and the concept of photogrammetry. The software tools that will be used for implementation are also considered.*

*In the second section, we formulate the technical task and develop a work plan. Methods for further optimization of the obtained models are considered.*

*The third section justifies the choice of software and describes the process of working with each. The analysis demonstrates the shortcomings of different software. The process of optimizing and refining the models is also described. The models are used for further work.*

*Section 4 evaluates the effectiveness of the photogrammetry method. The fifth section discusses the issues of labor protection.*

*The result of the work is a demonstration video using recreated models of real objects. It demonstrates the reproduced and modified parts.*

**Keywords:** *photogrammetry, photo set, alignment, point cloud, Reality Capture, Agisoft Metashape, 3DF Zephyr, Meshroom, Blender.*

## ЗМІСТ

	стор.
ВСТУП .....	9
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ.....	11
1.1 Варіанти створення 3D моделей.....	11
1.2 Поняття фотограмметрії.....	14
1.3 Огляд варіантів використання фотограмметрії.....	16
1.4 Приклади використання фотограмметрії для створення 3D моделей.....	20
1.5 Варіанти доступу до відтворених об'єктів.....	22
1.6 Постановка завдання.....	26
Висновки до першого розділу.....	27
РОЗДІЛ 2 ПРОЕКТУВАННЯ .....	28
2.1 Розробка пайплайну .....	28
2.2 Огляд методів фотограмметрії.....	30
2.2.1 Методи збору вхідних даних .....	30
2.2.2 Швидке зіставлення сцен .....	34
2.2.3 Математичні методи для фотограмметрії .....	37
2.3 Особливості фотограмметрії складних об'єктів .....	38
2.4 Методи оптимізації .....	39
2.5 Проєкт сцени.....	41
2.6 Збір вхідних даних .....	44
2.6.1 Вибір знімального обладнання .....	44
2.6.2 Підготовка даних для фотограмметрії.....	46
Висновки до другого розділу .....	48
РОЗДІЛ 3 РЕАЛІЗАЦІЯ.....	50

					<b>КРБ.КІ.1.442-03.1.2</b>				
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>					
Розробив		Ольга КРАВЧЕНКО			<b>Створення реалістичної 3D моделі методом фотограмметрії</b> КРБ.КІ.1.442-03.1.2	<b>Літ.</b>	<b>Арк.</b>	<b>Акрушіє</b>	
Перевірів		Світлана ЖУКОВЕЦЬКА							
Рецензент		Денис СІГУР					6	13	Арк.
Нормоконтроль		Світлана ЖУКОВЕЦЬКА					ф. 542, ОНТУ		6
Затвердив		Сергей ПАРХОМЕНКО	<b>Підпис</b>	<b>Дат</b>					

3.1 Порівняння результатів створення 3D-моделей різними засобами фотограмметрії .....	50
3.1.1 <i>RealityCapture</i> .....	50
3.1.2 <i>Meshroom</i> .....	53
3.1.3 <i>Agisoft Metashape</i> .....	59
3.1.4 <i>3DF Zephyr</i> .....	62
3.1.5 Мобільні додатки для створення 3D моделей методом фотограмметрії .....	69
3.2 Оптимізація моделей .....	70
3.2.1 Оптимізація альтанки .....	70
3.2.2 Оптимізація пам'ятника .....	74
3.2.3 Оптимізація дерева .....	77
3.3 Доопрацювання моделей.....	80
3.3.1 Доопрацювання альтанки.....	80
3.3.2 Доопрацювання дерева.....	83
3.4 Створення відеороліку.....	85
3.4.1 Композитінг .....	85
3.4.2 Освітлення та камера .....	86
3.4.3 Анімація камери .....	87
3.4.4 Візуалізація .....	87
Висновки до третього розділу .....	89
<b>РОЗДІЛ 4 ЕКОНОМІЧНІ РОЗРАХУНКИ.....</b>	<b>90</b>
4.1 Організаційно-економічне обґрунтування проєкту.....	90
4.2 Маркетингове обґрунтування проєкту.....	93
4.3 Розрахунки економічної ефективності впровадження нового програмного продукту .....	95
4.4 Огляд та оцінка використаних методів.....	106
4.5 Бізнес-план проєкту .....	109
Висновки до четвертого розділу.....	111
<b>РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ .....</b>	<b>112</b>

					<b>KPM.KI.0.442-03.1.9</b>	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

5.1 Основні положення охорони праці .....	112
5.2 Умови та недоліки роботи за комп'ютером .....	112
5.3 Електробезпека.....	114
5.4 Пожежна безпека при роботі з комп'ютером.....	115
Висновки до п'ятого розділу.....	116
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ .....	117
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	118
ДОДАТКИ.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Додаток А Рендери оптимізованих моделей .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Додаток Б Проблеми топології .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Додаток В Відтворення дерева .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Додаток Г Відтворення альтанки .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Додаток Ґ Інтерфейс ПЗ для фотограмметрії.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Додаток Д Інтерфейс ПЗ для фотограмметрії....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Додаток Е Відтворення об'єктів за допомогою мобільних додатків.....	<b>Error!</b>
	<b>Bookmark not defined.</b>
Додаток Є Відтворення та оптимізація пам'ятника .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
	<b>defined.</b>
Додаток З Графічний матеріал.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>

## ВСТУП

Фотограмметрія набуває все більшої популярності як метод створення реалістичних 3D моделей, завдяки своїй точності та доступності. Цей метод використовує фотографії об'єктів з різних ракурсів для відтворення їхньої форми в 3D. Завдяки фотограмметрії можна створювати якісні та реалістичні моделі для подальшого використання у різних галузях.

*Актуальність теми.* Зростаючий попит на реалістичні 3D моделі у таких сферах, як, наприклад, віртуальна реальність, збереження культурної спадщини та кіноіндустрія, зумовлює необхідність вдосконалення методів їх створення. Метод фотограмметрії – це швидкий та незатратний спосіб отримати якісні моделі, що розширює можливості їхнього використання. Завдяки фотограмметрії можна створювати моделі з високим рівнем деталізації, що дозволяє їх використовувати у наукових дослідженнях, реставраційних роботах та цифрових архівах. Цей метод є доступним для широкого кола користувачів, оскільки для зйомки можна використовувати звичайні цифрові камери або навіть смартфони.

Хоча порівняно з традиційними методами моделювання, такими як звичайне 3D моделювання або лазерне сканування, фотограмметрія і є менш витратною і дозволяє отримувати результати швидше, вона все ж таки має свої обмеження. Це обмеження пов'язані з якістю вхідних зображень, нефотограмметричними об'єктами та складністю об'єктів. Технологія фотограмметрії базується на обробці зображень об'єкта, зроблених з різних точок та різними кутами зйомки. Процес створення 3D моделі включає декілька етапів: зйомка об'єкта, обробка зображень для визначення ключових точок, побудова сітки з точок і текстурування моделі. Для забезпечення високої точності результату необхідно дотримуватися певних технічних вимог під час зйомки, таких як освітлення та фокусування.

*Метою роботи* є створення реалістичної 3D моделі методом фотограмметрії.

					<b>KPM.KI.0.442-03.1.9</b>	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

*Об'єктом дослідження є процеси створення реалістичної 3D моделі методом фотограмметрії.*

*Предметом дослідження є методи створення реалістичної 3D моделі методом фотограмметрії.*

*Основними задачами, які необхідно вирішити в ході роботи є:*

1. Аналіз предметної області та існуючих варіантів створення 3D моделей.
2. Дослідження існуючих видів програмного забезпечення для фотограмметрії.
3. Вибір необхідного програмного забезпечення та інструментів.
4. Формування методики створення моделі методом фотограмметрії.
5. Реалізація відтворення моделей.
6. Оптимізація відтворених моделей.
7. Доопрацювання відтворених моделей.
8. Створення відеоролика з демонстрацією відтворених моделей.

*Методами дослідження є методи збору вхідних даних, методи фотограмметрії для обробки даних та методи моделювання у 3D редакторі для доопрацювання отриманих результатів.*

*Наукова новизна кваліфікаційної роботи полягає в комплексному підході до створення реалістичних 3D моделей за допомогою фотограмметрії, що включає розробку методики для відтворення об'єктів різних розмірів, оптимізацію процесів зйомки та обробки даних, а також застосування новітніх програмних інструментів (використання ШІ для редагування пошкоджених текстур).*

*Апробація результатів роботи і публікації. Особливості відтворення об'єктів великого розміру методом фотограмметрії. Кравченко О.В., Жуковецька С.Л. // Матеріали XXIV Всеукраїнської науково-технічної конференції молодих вчених, аспірантів та студентів. Одеса, 18-19 квітня 2024 р. - Одеса, Видавництво ОНТУ, 2024 р. – 498 с.*

					<i>KPM.KI.0.442-03.1.9</i>	<i>Арк.</i>
						10
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дат</i>		

# РОЗДІЛ 1

## АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

### 1.1 Варіанти створення 3D моделей

Майже кожна людина кожного дня стикається з зображеннями та іншими елементами, створеними за допомогою 3D моделювання. Це може бути звичайна реклама, анімації для дітей, *VFX* у фільмі або серіалі, об'єкти або локації в відеоіграх, елементи наукових досліджень.

3D моделювання – це процес створення тривимірних моделей за допомогою спеціального програмного забезпечення. Результат залежить не тільки від обраного ПЗ, але й від методу, обраного для створення моделі. Існують різні методи такі, як:

- твердотіле моделювання;
- полігональне моделювання;
- скульптинг;
- фотограмметрія;
- створення 3D моделей за допомогою нейромережі.

Твердотіле моделювання – це комп'ютерне конструювання тривимірних жорстких об'єктів, мета якого забезпечити геометричну правильність кожної поверхні. Твердотіле моделювання призначене для представлення твердих об'єктів в областях САПР, інженерного аналізу, графіки, анімації, а також створення прототипів, візуалізації продуктів. Використовуються математичні принципи створення тривимірних твердих об'єктів.

Переваги твердотілого моделювання: модель містить повне визначення об'єму та форми, автоматичне видалення невидимих ліній, містить автоматизовану побудову тривимірних розрізів проєктованого виробу, що особливо важливо при аналізі складальних одиниць, а також містить автоматичне отримання точних значень маси, площі поверхні, центру маси, моменту інерції для будь-якої деталі або виробу у цілому. Також твердотіла

					КРМ.КІ.0.442-03.1.9	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

модель підвищує ефективність імітації руху інструменту або робочих органів виробу, має різноманітну палітру кольорів та управління колірною гаммою, що дозволяє отримати тонові ефекти та сприяє отриманню якісного зображення форми.

Один із методів твердотілого моделювання базується на побудові моделі з набору базових твердотільних примітивів, які знаходяться в бібліотеках системи. Кожен примітив визначений конкретною формою (наприклад: куля, циліндр, паралелепіпед і т.д.), точкою прив'язування, початковою орієнтацією та змінними розмірами.

Полігональне моделювання – це створення об'єктів шляхом використання багатокутників (полігонів). Сукупність полігонів формує сітку, яка утворює оболонку створюваної моделі. Чим більше використовується полігонів, тим точніше передається структура поверхні об'єкта. Занадто багато полігонів може призвести до великої кількості даних та повільної обробки, тоді як замало полігонів може призвести до втрати деталізації та якості моделі. Цей метод використовується для створення 3D об'єктів у програмах, які допомагають нам розробляти ігри, анімацію, архітектурні проекти та інші речі, які потребують 3D моделей.

Скульптинг – це моделювання об'єктів шляхом використання спеціалізованого 3D-редактора, який імітує звичайне ліплення зі справжньої глини. У скульптингу так само як і з глиною, можна «додавати» поверхні, наносячи нові шари або навпаки, видаляти зайве стираючи шари. Кожен інструмент забезпечує різну деформацію геометрії моделі, що полегшує і збагачує процес моделювання. Це потужний інструмент для створення тривимірних об'єктів, але він вимагає від користувачів певного рівня кваліфікації та уваги до деталей.

З недавнього часу почав набирати популярність такий метод створення тривимірних об'єктів, як фотограмметрія. Цей метод дозволяє створити модель на основі двовимірних зображень. Суть методу полягає в тому, щоб зібрати необхідну кількість даних таких як положення у просторі, розмір, розташування

					<i>KPM.KI.0.442-03.1.9</i>	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

і за допомогою обробки відтворити об'єкт у тривимірному форматі. Одною з переваг цього методу, є суттєва економія часу. Оскільки, цей метод набагато швидше, ніж створення тривимірного об'єкта «вручну».

Створення 3D моделей за допомогою нейромережі [19]. Цей метод теж з'явився відносно недавно. Поява нейромереж полегшила життя, хтось використовує їх для навчання, розваг або для роботи. Як кажуть розробники треба ввести *prompt* з ключовими словами, яка це має бути модель і запустити процес. Спроби використання деякі з цих нейромереж показали, що в результаті нейромережа створює модель і зверху натягує текстуру. В такій моделі іноді можуть бути пропущені певні частини об'єктів, і форма вийде дещо спотвореною. Наприклад, якщо задати команду, щоб створити тривимірну модель персонажа, це виглядає доволі недолуго наче хтось натягує тканину на об'єкт. Перевага такого методу полягає в тому, що є можливість використати це декілька разів, отримавши спеціальні «кредити», або безкоштовний тестовий доступ з обмеженим функціоналом. Приклад моделі створеної з використанням нейромережі на рисунку 1.1.



Рис. 1.1 – Згенерована модель від нейромережі *Masterpiece X*

					КРМ.КІ.0.442-03.1.9	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

## 1.2 Поняття фотограмметрії

Фотограмметрія – це метод створення тривимірних об’єктів шляхом отримання інформації з двовимірних зображень зроблених з різних кутів.

Сама ідея фотограмметрії виникла задовго до появи першої фотокамери. У 1490-х роках Леонардо да Вінчі почав працювати над принципами перспективної та проєктивної геометрії [27]. Але лише в 1883 році Штурм і Гаук встановили зв’язок між проєктивною геометрією та фотограмметрією.

Проєктивна геометрія – це розділ геометрії, який вивчає зв’язок між геометричними фігурами та зображеннями, спроектованими на іншу поверхню.

Але більш наближеним до сучасного поняття фотограмметрії є робота Лоуренса Робертса, його називають батьком комп’ютерного зору [27]. У 1963 він написав докторську дисертацію в Массачусетському технологічному інституті на тему «Машинне сприйняття тривимірних тіл», у якій обговорюється вилучення 3D-інформації з 2D-фотографій. У своїй роботі він описував нові засоби для отримання тривимірних даних з двовимірних зображень.

Перші спроби використання призначалися для підтримки аналізу географічних ресурсів. У 2000 році ЦРУ випустило *Earth Viewer*, який був використаний американською армією для спостереження за рухом іракських військ, ідентифікації цілей і планування маршрутів [27]. *Earth Viewer* забезпечував можливість детального аналізу територій і використання геопросторової інформації для воєнних потреб.

Пізніше, у 2004 році, *Google* викупив *Earth Viewer* та перейменував його в *Google Earth* [27]. Це перетворення дозволило розширити доступні можливості для широкого кола користувачів. *Google Earth* став потужним інструментом для вивчення глобальних географічних об’єктів, навігації, планування подорожей, а також використання у навчальних та дослідницьких цілях.

Вже у 2008 році маючи набір фотографій з перекриттям та високою роздільною здатністю, можна було створити 3D модель об’єкта. І ця технологія почала широко застосовуватися.

					КРМ.КІ.0.442-03.1.9	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Суть процесу полягає в тому, щоб зібрати достатньо кількості інформації для створення моделі. Якщо буде недостатньо інформації, можуть виникнути проблеми з моделлю і доведеться доводити до готового результату вручну.

Хоч задача і видається простою – зробити значну кількість фотографії, обрати програмне забезпечення, натиснути кілька кнопок і все модель готова – насправді це доволі важкий процес на який впливає багато факторів.

Перший крок у фотограмметрії – це збір фотографій об’єкта або поверхні, які потрібно моделювати. Ці фотографії мають бути зроблені з різних точок і кутів, щоб забезпечити достатню інформацію для створення тривимірної моделі.

Однією з проблем під час збору фотографій може бути віддзеркалююча поверхня об’єкта, але є спосіб відзняти об’єкт двічі: перший раз обробленим спеціальним засобом який прибере блиск і відображення, інший зняти об’єкт вже нічим не обробленим, щоб накласти текстуру поверх першої зйомки.

Інша проблема – якщо обраний об’єкт знаходиться не в приміщенні, то виникає проблема пов’язана з погодними умовами. По-перше, може бути занадто сонячно, і в такому випадку через утворення тіні або фотографування проти сонячного світла виникнуть проблеми що спотворюють фінальний результат. По-друге, якщо нещодавно був дощ, то проблемою стають калюжі, які віддзеркалюють поверхню та у фінальному результаті в об’єкті виникають діри. В ідеалі доволі хмарна погода створює м’яке світло, що не спотворює текстуру і фрагменти об’єкта.

Іншою проблемою може стати розмір обраного об’єкта. Якщо немає необхідного обладнання, то через недостатню кількість зображень виникнуть дефекти, бо інформації не вистачає.

Отримані фотографії піддаються обробці, вирівнюються, можливе також видалення спотворень або шуму.

На фотографіях визначаються ключові точки, які використовуються для визначення геометрії об’єкта. Ці точки можуть бути вибрані вручну або автоматично за допомогою комп’ютерних алгоритмів.

					<i>KPM.KI.0.442-03.1.9</i>	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

За допомогою визначення положення точок в просторі за допомогою їхнього розташування на різних фотографіях, визначається тривимірна геометрія об'єкта.

За допомогою вищезгаданих даних добувається тривимірна модель об'єкта або поверхні. Ця модель може бути представлена у вигляді хмари точок, полігонів або інших геометричних об'єктів.

### 1.3 Огляд варіантів використання фотограмметрії

Фотограмметрія має широке застосування у різних сферах, її використовують для реалізації проєктів та ініціатив різного масштабу. Зокрема, фотограмметрію використовують різні організації та музеї для створення віртуальних турів. Такий напрямок використання фотограмметрії доволі актуальний і має великий потенціал.

Так, наприклад, Пергамський музей у Берліні [32], який зараз закритий на реконструкцію і відкриється повністю лише у 2037 році, надає можливість всім охочим подивитися і навіть «покрутити» різні експонати онлайн.

Також вдалим прикладом використання фотограмметрії, є випадок коли за розпорядженням головних архітекторів історичних пам'яток, DRAC, Консерваторії історичних пам'яток Іль-де-Франс і префекта регіону Іль-де-Франс. Команда AGP у співпраці з FARO провела екстрену операцію, щоб врятувати Нотр-Дам: за один день провели точне 3D-обстеження будівлі (рис. 1.2) після пожежі, щоб встановити діагноз пошкоджень [22].



Рис. 1.2 – 3D-карта для вивчення пошкоджень споруди

					KPM.KI.0.442-03.1.9	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

У 2004 році уряд Іспанії – Міністерство транспорту, мобільності та міської програми розробив проєкт *PNOA*. Цей проєкт спрямований на отримання цифрових аерофотознімків усїєї території Іспанії з фіксованим періодом оновлення, який зараз становить 3 роки [28]. Здійснюється унікальний фотограмметричний політ і ретельна обробка даних відповідно до технічних специфікацій, узгоджених усіма державними адміністраціями-учасниками. Цей підхід до спільного виробництва між різними адміністраціями відповідає духу Директиви *Inspire* для створення інфраструктури географічних даних у Європі, яка має на меті гарантувати, що максимальний рівень деталізації географічної інформації збирається лише один раз і відкрито передається між різними агентами, які її потребують [28]. Нижче на рисунку 1.3 наведено приклад.



Рис. 1.3 – Зображення створене у рамках проєкту *Historical PNOA*

У США є безкоштовний пошуковий ресурс *PubMed*, що належить Національній бібліотеці медицини США та Національному інституту здоров'я. Серед опублікованих там досліджень можна знайти приклади використання фотограмметрії. Наприклад, у деяких навчальних закладах навчання

					<i>KPM.KI.0.442-03.1.9</i>	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		



були ідеально синхронізовані, що дуже важливо для фотограмметрії [11]. Для реконструкції сканів з купола на знімальному майданчику та під час виробництва використовувався *RealityCapture*. Потім зроблені моделі використали для оформлення вигаданого японського мегаполісу. Приклад (рис. 1.5) створення однієї з солограм.

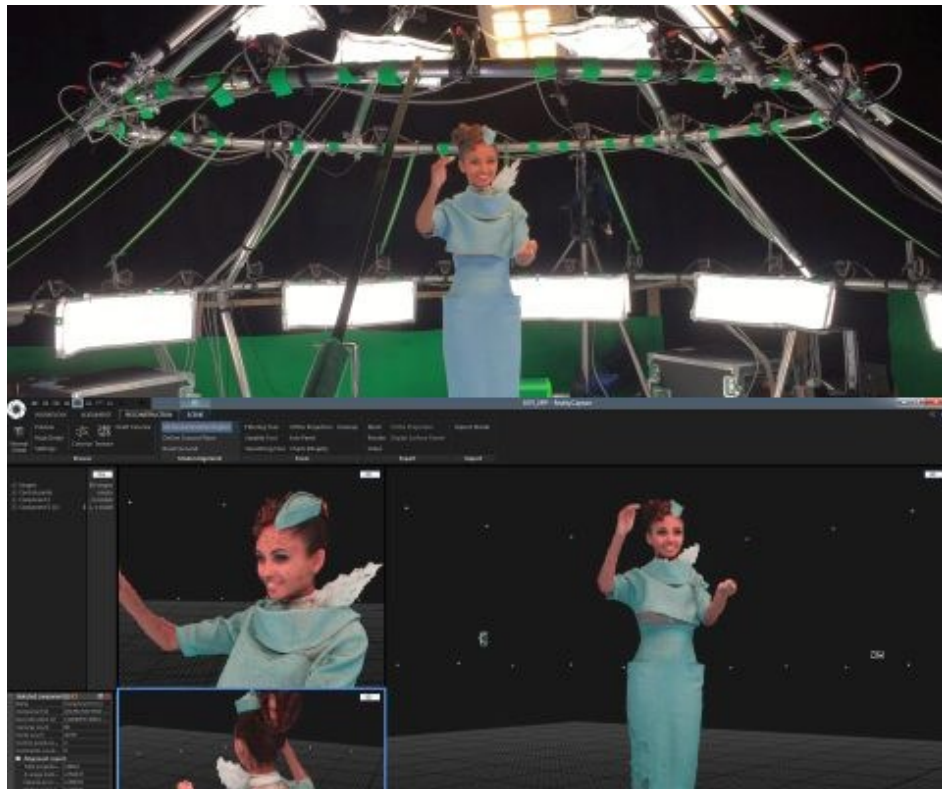


Рис. 1.5 – Купол з камерами для солограм

Крім того, у фільмі про Джеймса Бонда «Квант милосердя» теж було використано технологію фотограмметрії. Яскравим прикладом є сцена де герой Крейга з іншою акторкою стрибають з палаючого гелікоптера *DC-3* з одним парашутом[10]. Цю сцену було знято у вертикальній аеродинамічній трубі в Бедфордширі. Акторів знімали з 17 різних ракурсів в п'ятиметровій аеродинамічній трубі, яка фізично імітувала вільне падіння зі швидкістю 190 миль на годину [10]. Використовуючи синхронізовані кадри з усіх камер, *CGI*-сітки були згенеровані зі справжніх тіл акторів. Оригінальна фотографія акторів була нанесена на ці фігури, створюючи фотореалістичну *3D*-геометрію.

Це дозволило художникам *VFX* синтезувати абсолютно нові кути зйомки для обох акторів, незалежно від того, чи була в цьому положенні камера, і

					<i>KPM.KI.0.442-03.1.9</i>	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

повторно висвітлити комп'ютерні фігури перед тим, як об'єднати їх у аерофотознімок, зроблений над Мексикою [10].

#### 1.4 Приклади використання фотограмметрії для створення 3D моделей

Моделі створені технологією сканування можна використовувати по різному. Наприклад, проєкт *Pocket City AR* від команди *Skeiron* [26]. Вони зробили сувеніри у вигляді поштівок з культурними пам'ятками у різних містах України. Ідея *AR*-сувенирів (рис. 1.6) полягає в тому, що використовуючи мобільний додаток користувачі можуть «оживити» відскановані об'єкти.

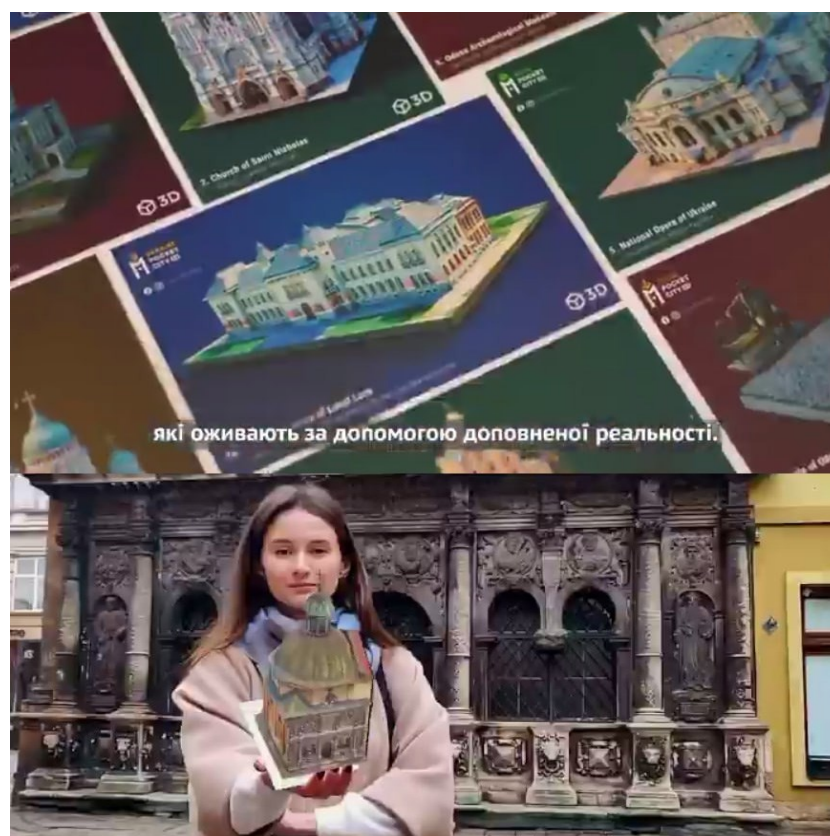


Рис. 1.6 – *Pocket City AR* листівки

Проєкт «*CyArk*» активно використовує фотограмметрію для створення цифрових копій світових культурних пам'яток [33]. Вони створюють віртуальні екскурсії, де роблять близько 10 сцен. Ці сцени мають аудіо супровід з розповіддю про місцевість, та додатково записаний спів пташок. Після того як користувачі ознайомилися з інформацією їм пропонують обрати елементи що їх

					КРМ.КІ.0.442-03.1.9	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

цікавлять, про які вони б хотіли дізнатися більше. Користувачі можуть «озирнутися навколо» і продовжити слухати аудіосупровід (рис. 1.7).

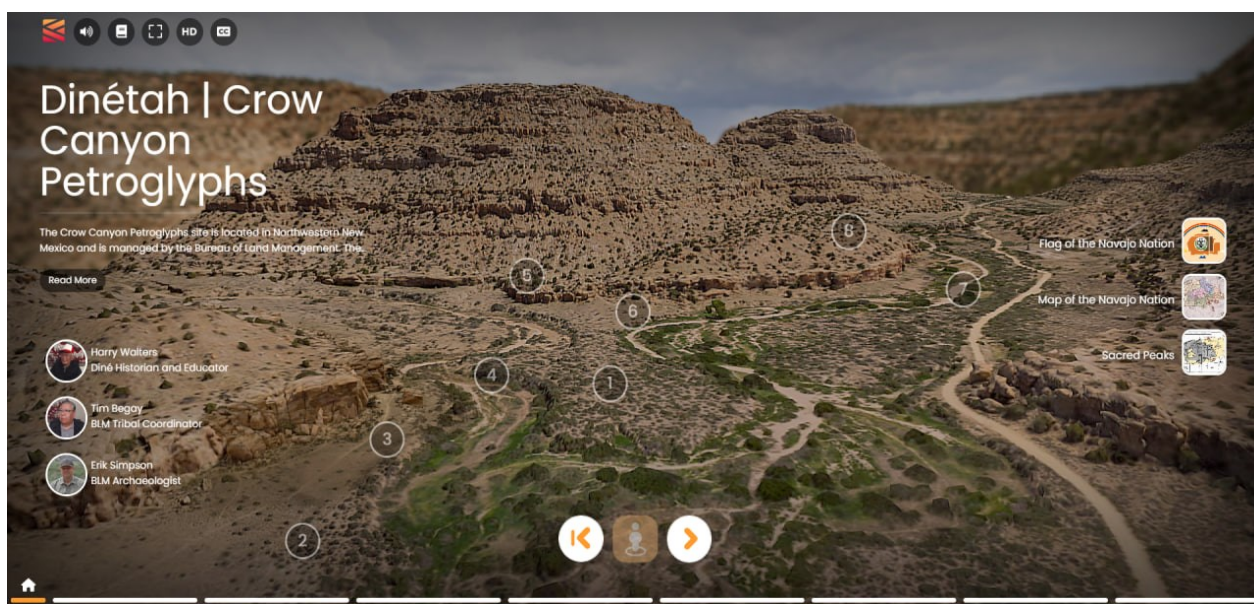


Рис. 1.7 – Віртуальний тур

Також цікавим прикладом використання фотограмметрії поділилися *Grzegorz Baran* [21] та Федеріко Капріуолі [13]. Вони обидва опублікували статті та відео матеріали про те як можна за допомогою фотограмметрії створювати *PBR* матеріали для подальшого використання. Федеріко Капріуолі розповів, що скануючи одну середньовічну церкву він зміг витягнути декілька матеріалів (рис. 1.8) за допомогою таких інструментів як *Blender*, *ArtEngine* (вже немає підтримки) та *Xnormal* [13].



Рис. 1.8 – Матеріали створені після сканування церкви

					<i>KPM.KI.0.442-03.1.9</i>	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

У 2019 році експерт з матеріалів, художник *Grzegorz Baran* в *Ubisoft Reflections* поділився зі спільнотою тим як він використовує фотограмметрію для створення матеріалів *PBR*. Він написав «Посібник для створення *PBR*-текстур для оточення за допомогою фотограмметрії – версія 0.37». Автор дослідив процеси від оцифрування поверхні до випікання, видалення швів, настройки до отримання остаточного, корисного, без швів або видимих переходів між текстурами в усіх напрямках високоякісного матеріалу *PBR*. Основні програми, які він використовував *Agisoft Photoscan*, *ZBrush*, *Substance Designer* та *Substance Painter* з *PhotoLab*, *Lightroom* та *Photoshop* [21].

### 1.5 Варіанти доступу до відтворених об'єктів

Компанії, які займаються відцифруванням об'єктів, розміщують результати роботи на своїх сайтах або створюють сторінки у соцмережах, де демонструють аудиторії етапи виконання робіт, анонси і фото або анімації результатів сканування. Не завжди виставлені анімації повністю показують масштаби проведених робіт, тому існують платформи на які виставляють моделі відцифрованих об'єктів. Серед доступних платформ для публікації створених моделей є *Polycam*, *Sketchfab* та *Nira*. Це забезпечує можливість швидкого доступу до моделей з будь-якого пристрою, підключеного до інтернету, що дозволяє ділитися результатами з колегами чи клієнтами.

Різниця між цими платформами полягає в тому, що кожна з них має власні обмеження.

*Polycam*. Використовувати цю платформу можна не тільки для публікації моделей, створених за допомогою мобільного додатку або вебверсії [29]. Також можна публікувати моделі створені іншими програмними засобами. Зазвичай обмеження виникають через розмір файлу або неповний набір даних для імпорту моделей. Користувачі можуть завантажити вже оптимізовані моделі у публічний доступ, або для приватного перегляду. За додаткову плату можна отримати доступ до розширених функцій та можливостей публікації, що дозволяє створювати більш складні та великі проекти [29]. Зазвичай користувачі *Polycam*

					<i>KPM.KI.0.442-03.1.9</i>	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

публікують невеликі відтворені об'єкти, створені за допомогою мобільного додатку (рис. 1.9).

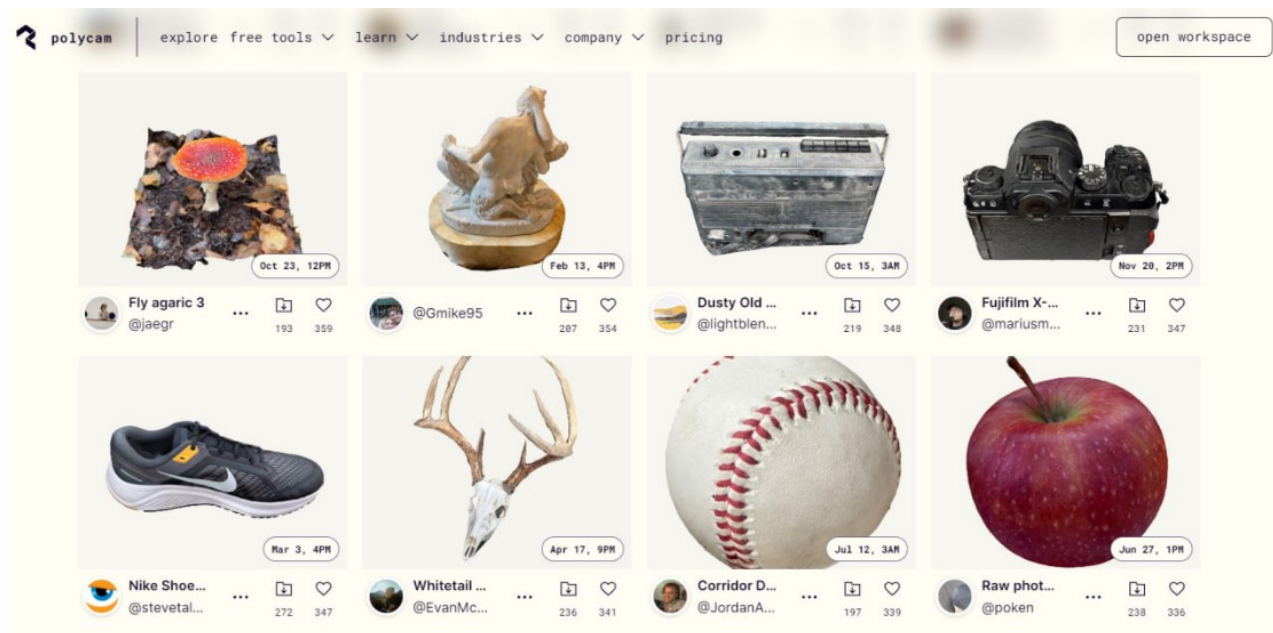


Рис. 1.9 – Моделі створені та опубліковані на платформі *Polycam*

*Sketchfab* є популярною платформою для публікацій моделей створених не тільки за допомогою фотограмметрії [30]. На цій платформі користувачі можуть продавати створені моделі, або публікувати роботи з дозволом для безкоштовного використання. Однак, існують певні обмеження, такі як обмеження розміру завантажуваних файлів у безкоштовній версії платформи, як приклад на рисунку 1.10 оптимізована модель Одеського театру опери та балету.



Рис. 1.10 – Приклад публікації на *Sketchfab*

Платні підписки дозволяють зняти обмеження та отримати доступ до додаткових функцій, таких як приватні колекції або дозвіл на завантаження файлів великого розміру без оптимізації. *Sketchfab* надає потужні можливості для перегляду та взаємодії з 3D моделями в режимах віртуальної реальності (VR) та доповненої реальності (AR) [30]. Для цього платформа пропонує використовувати інструменти та налаштування, які дозволяють використовувати технологію AR/VR. *Sketchfab* надає інструменти для попереднього перегляду моделі в VR/AR перед публікацією, що дозволяє внести необхідні корективи для досягнення найкращого результату.

*Nira* є менш відомою платформою для публікації 3D моделей, орієнтованою на промислове використання [31]. Ця платформа для публікації моделей є платною, але надає можливість безкоштовного використання на 15 днів. *Nira* є ідеальною платформою для публікації великих проєктів, де безпека даних є критично важливою. Платформа пропонує різні плани підписки, які дозволяють користувачам вибирати між різними рівнями зберігання проєктів та функціональності. Основною особливістю платформи є її здатність працювати з дуже великими та складними моделями, що робить її ідеальною для інженерних та архітектурних проєктів. Інтерфейс *Nira* орієнтований на професійних

					<i>KPM.KI.0.442-03.1.9</i>	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

користувачів і може вимагати певного рівня технічної підготовки для використання [31]. Однак, це компенсується широкими можливостями платформи, які включають інструменти для аналізу та обробки моделей, а також засоби для роботи у командах. Це дозволяє великим компаніям керувати своїми проєктами та забезпечувати високу якість роботи. *Nira* забезпечує якісний інтерактивний перегляд моделей безпосередньо у браузері. Це дозволяє користувачам обертати, масштабувати моделі, досліджуючи їх з будь-якого кута, що допомагає отримати максимально реалістичне уявлення про об'єкт. Приклад наведено нижче, на рисунку 1.11.



Рис. 1.11 – Приклад публікації на платформі *Nira*

Окрім зазначених платформ, існують й інші способи доступу до відтворених об'єктів. Платформи для публікації та перегляду фотограмметричних моделей відкривають багато можливостей для їхнього використання у різних галузях. Це сприяє розвитку технологій, покращує взаємодію з тривимірними об'єктами та дозволяють користувачам отримувати більш точну та детальну інформацію. Окрім зазначених платформ існують і інші способи доступу до відтворених об'єктів.

## 1.6 Постановка завдання

Кваліфікаційна робота є проектом, що має на меті дослідження програмних засобів для створення реалістичних моделей методом фотограмметрії. Завдання даної роботи полягає у створенні та оптимізації 3D-моделей різних об'єктів, а також у розробці відеоролику з демонстрацією результатів відтворення. Конкретно дана робота включає створення трьох моделей, що мають певні особливості.

1. Загальні вимоги. Мають бути відтворені об'єкти зовнішнього середовища, зокрема альтанка *Schäferhalle* і пам'ятник Якобу Грімму, а також дерево. *Schäferhalle* – альтанка на західному схилі біля міста Ешвеге, була побудована у 1913 році за планами тодішнього міського архітектора Гросклауса. *Schäferhalle* вшановує пам'ять Густава Шефера, який у своєму заповіті пожертвував велику суму грошей своєму рідному місту на благодійні цілі. Пам'ятник Якобу Грімму – це пам'ятник у центрі міста Вітценгаузен. Пам'ятник стоїть у Вітценхаузені з 17 грудня 2013 року, як нагадування про промову свободи, яку Якоб Грімм виголосив перед приблизно 250 студентами університету міста Геттінгена 17 грудня 1837 року.

2. Вимоги до результату. Результатом роботи мають бути три оптимізовані 3D моделі, з доопрацьованими елементами, які надалі мають бути використані в демонстрації проекту. Для того, щоб показати результати, має бути створений відеоролик, який містить титульні та заключні кадри, додаткові анімації та аудіоряд. В самому ролику мають демонструватися оптимізовані відтворені об'єкти, також має бути показано доопрацьоване дерево та реконструкція даху альтанки.

3. Вимоги до цільових об'єктів. Цільовими об'єктами мають бути: об'єкт з великою кількістю розгалужень, об'єкт великого розміру та об'єкт зі складною формою. Топологія оптимізованих моделей має бути низькополігональною, щоб забезпечити ефективне використання ресурсів та підвищити продуктивність. Для оптимізації текстур слід використовувати запечені текстури з *high poly* версії,

					KPM.KI.0.442-03.1.9	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

щоб забезпечити високу якість деталізації при мінімальному використанні ресурсів.

4. Вимоги до використовуваних технологій. Використані програмні засоби для фотограмметрії, мають точно відтворювати без спотворень відзняті об'єкти, забезпечуючи високу якість відтворених об'єктів. Створені об'єкти мають мати такі характеристики, щоб не ускладнювати експорт в інші програмні засоби і забезпечувати можливість їх доопрацювання. Використання програмних інструментів для оптимізації та доопрацювання створених 3D-моделей.

5. Вимоги до порядку робіт. Роботи виконуються за пайплайном, який включає в себе послідовні кроки роботи з фотограмметричними та оптимізації та доопрацювання.

### **Висновки до першого розділу**

1. Було розглянуто, які існують варіанти створення 3D моделей, детальніше досліджено поняття фотограмметрії та історію початку її використання.

2. Проаналізовано варіанти застосування фотограмметрії, і сфери використання цієї технології. Розглянуто, як окрім створення моделей, інші користувачі використовують результати відтворення, для створення *PBR* текстур.

3. Розглянуто варіанти доступу до відтворених об'єктів, на таких платформах, як *Polycam*, *Nira* та *Sketchfab*.

4. Здійснено постановку завдання з зазначенням вимог до бажаного результату, що є необхідним для подальшої роботи.

					<i>KPM.KI.0.442-03.1.9</i>	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

## РОЗДІЛ 2 ПРОЕКТУВАННЯ

### 2.1 Розробка пайплайну

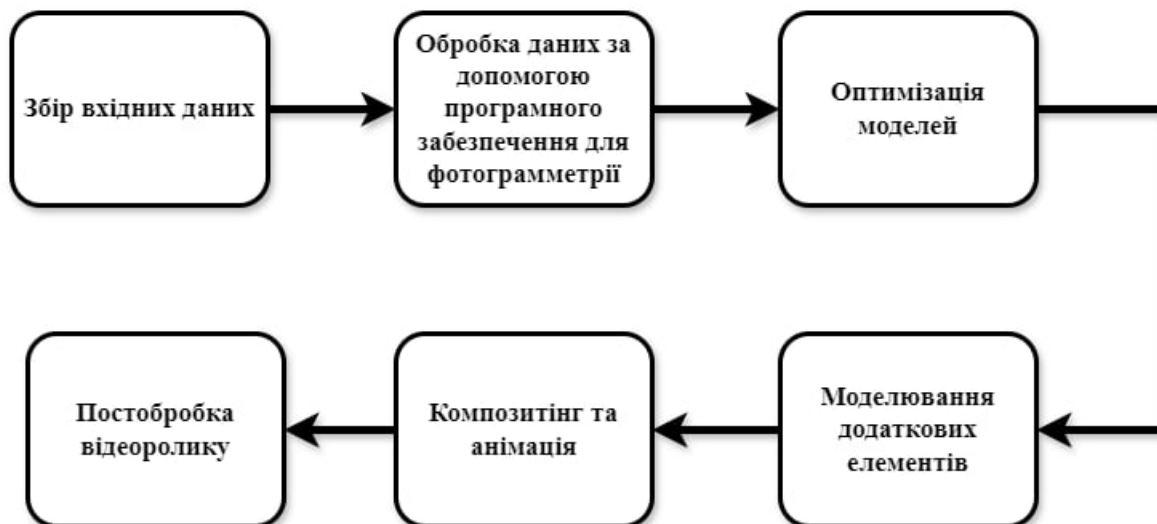


Рис. 2.1 – Пайплайн

Збір вхідних даних полягає в тому, щоб зробити кадри об'єктів з різних ракурсів та кутів зору. Головною метою на цьому етапі є забезпечення наявності якісних і чітких зображень для подальшої обробки.

Обробка даних за допомогою програмного забезпечення для фотограмметрії. У цій роботі буде розглянуто такі програмні засоби, як *RealityCapture*, *3DF Zephyr*, *Meshroom* або *Agisoft Metashape* [17]. У кожного програмного забезпечення є свої унікальні функції та інструменти, але загальний процес обробки даних може включати наступні етапи:

1. Імпорт вхідних даних: для того, щоб почати роботу треба імпортувати зроблені кадри. Також це можуть бути відео, результат лазерного сканування і т.д.

2. Вирівнювання зображень: програмне забезпечення автоматично вирівнює зображення за допомогою різних алгоритмів, щоб забезпечити оптимальну точність і відповідність між знімками.

3. Генерація хмари точок: після аналізу зображень визначається положення точок у тривимірному просторі, створюючи хмару точок, яка відображає поверхню об'єкта.

4. Визначення контрольних точок (за потреби): для того, щоб забезпечити точність, користувачі можуть вручну встановити контрольні точки.

5. Генерація щільної хмари точок: ПЗ створює щільнішу хмару точок, додатково аналізуючи зображення і визначаючи додаткові точки.

6. Редагування хмари точок: користувачі можуть видаляючи непотрібні або неправильні точки, що можуть виникнути в результаті обробки. Це дозволить зменшити час для створення мешу, оскільки тоді не буде витрачатися час на створення зайвих елементів.

7. Генерація мешу: програма генерує меш, що відображає форму об'єкта.

8. Генерація текстури: автоматично генерується текстура для мешу, використовуючи інформацію з вхідних зображень

9. Експорт: після завершення обробки даних користувачі можуть експортувати готову 3D-модель разом з текстурою і обраним форматом для подальшого використання.

10. Оптимізація моделей: цей етап необхідний для того, щоб спростити сітку моделей та оптимізувати текстури для подальшої роботи з моделями.

11. Моделювання додаткових елементів: у компаній, які займаються фотограмметрією є все необхідне обладнання (камери, дрони, лазери, поворотні столи тощо), тому у них не виникає проблем з відтворенням моделі. У даній роботі для деяких моделей доведеться моделювати низку елементів самостійно. Також використовується для наповнення сцени.

12. Композитінг та анімація: щоб зробити підсумовуючий відеоролик необхідно зробити анімацію з використанням створених моделей.

					<i>KPM.KI.0.442-03.1.9</i>	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

13. Постобробка відеоролика: цей етап полягає в тому, щоб використовуючи створені анімації змонтувати і продемонструвати результат зробленої роботи.

## 2.2 Огляд методів фотограмметрії

Термін «фотограмметрія» складається з трьох грецьких слів: фото – світло, грамма – запис, метрія – вимірювання. Ідея полягає в тому щоб отримати достовірну інформацію про фізичні об'єкти і за допомогою вимірювання та інтерпретації зображення відтворити їх цифрове представлення. Фотограмметрію поділяють на дві групи, теоретичну та практичну. Теоретична фотограмметрія формується на основі ідеологічних підходів (аналогового, аналітичного або цифрового) та математичних моделей. Практична фотограмметрія використовує ці теоретичні засади для отримання кінцевого продукту за допомогою конкретних технологій.

Фотограмметрія як наукова і прикладна дисципліна тісно пов'язана іншими галузями знань, як теоретично, так і технічно.

### 2.2.1 Методи збору вхідних даних

Отримати дані можна у різний спосіб, включаючи фотографію, радіо- та звуколокацію, рентгеноскопію, голографію, відео тощо. Кожен метод має свою власну геометрію формування зображень, а використання їх для вимірювання та дешифрування таких зображень також вимагає специфічних підходів і технік.

Зупинимось детальніше на наземній фотограмметрії. Це спосіб за допомогою якого можна вивчати і реєструвати форми, розміри і положення об'єктів у просторі по фотографіях отриманих з точок земної поверхні [4]. Нижче (рис. 2.2) наведено схему наземної фотограмметричної зйомки.

					<i>KPM.KI.0.442-03.1.9</i>	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

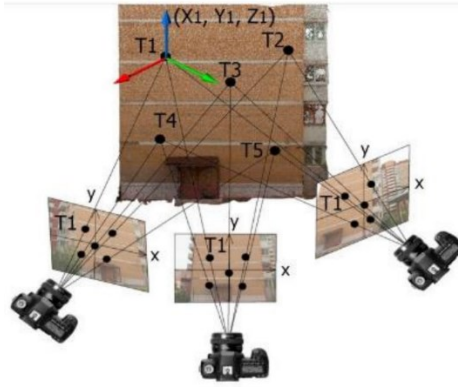


Рис. 2.2 – Схема наземної фотограмметричної зйомки

Види НФ класифікують залежно від розташування камери щодо об'єкта:

- зйомка з горизонтальним розташуванням осі зйомки;
- зйомка з довільним розташуванням осі зйомки.

Під час зйомки слід дотримуватися трьох важливих правил:

1. Правильно вибрати відстань між камерою та об'єктом, щоб забезпечити точність визначення координат точок об'єкта при мінімальній кількості знімків.
2. Провести зйомку таким чином, щоб усі частини об'єкта були зображені на кадрах, щоб не виникали «мертві зони».
3. Забезпечити розпізнаваність об'єктів на знімках, щоб була можливість побачити дрібні деталі об'єкта.

Висока точність досягається калібруванням на тестах. Навіть якщо знімати не спеціальною камерою (камера телефону або якийсь інший пристрій, не призначений для спеціальної фотограмметричної зйомки), ця камера калібрується на тестах. Головна задача калібровки – це отримання внутрішніх та зовнішніх параметрів камери по існуючим фотографіям або відео що було зняте. Тобто в різних умовах визначається геометрія за якою будується зображення. При фотограмметричній обробці використовують відкалібровану камеру з відомими елементами внутрішнього орієнтування: фокусна відстань та координати головної точки [4].

					<i>KPM.KI.0.442-03.1.9</i>	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

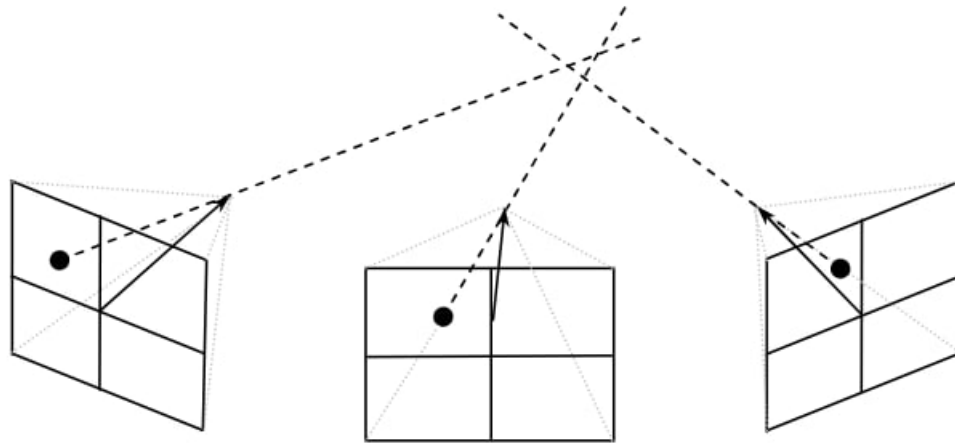


Рис. 2.3 – Перетин променів

У разі ідеального калібрування камер три промені як на схемі перетинаються в спільній точці, тобто точці об'єкта. Однак часто це неможливо, і три промені не перетинаються точно в одній точці. Тому розраховується уявна точка перетину, яка мінімізує відстань до всіх променів. Цей процес називається перетином прямого променя. Весь процес обробки це складний математичний процес, оснований на складному математичному апараті. У результаті процесу калібрування визначаються параметри внутрішньої орієнтації камери, що складаються з координат головної відстані та головної точки, а також поправок координат зображення, які враховують різні відхилення від моделі колінеарності[4]. Розрахунок усіх цих параметрів необхідний для отримання високоточних результатів вимірювань.

Фотокамери потребують попередньої калібровки, під час якої встановлюються внутрішні параметри орієнтації фотокамери, враховуючи характеристики фотограмметричної дисторсії (спотворення) об'єктива. Загалом при дисторсії спотворюється форма зображення, при цьому його якість не змінюється. Спотворення оптичної системи проявляється в порушенні колінеарності між об'єктом та його зображенням.

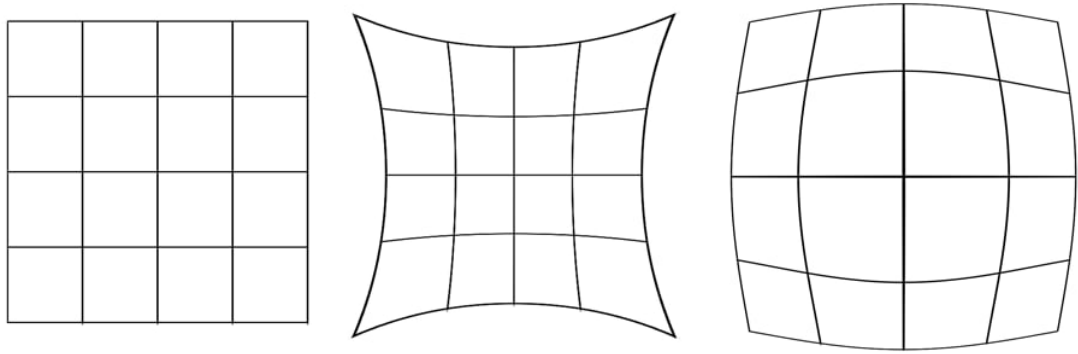


Рис. 2.4 – а) зображення без дисторсії; б) позитивна дисторсія; в) негативна дисторсія

Зазвичай це комбінація усіх трьох видів дисторсії, крім цього зверху накладаються спотворення вищих порядків та помилки конструювання системи.

Поправки  $dx$  і  $dy$  координати вимірюваних на знімку точок, що компенсують вплив фотограмметричної дисторсії об'єктива фотокамери, в загальному випадку описується різними рівняннями [4]. Однією з найпоширеніших на сьогодні моделей компенсації дисторсії є модель (формула 2.1) Брауна Конраді:

$$\begin{cases} d_x = x(r^2 k_1 + r^4 k_2 + r^6 k_3 + \dots) + (r^2 + 2x^2)p_1 + 2xyp_2 \\ d_y = y(r^2 k_1 + r^4 k_2 + r^6 k_3 + \dots) + (r^2 + 2y^2)p_2 + 2xyp_1 \end{cases} \quad (2.1)$$

де  $x, y$  – координати точок знімка;

$k_1, k_2, k_3$  – коефіцієнти радіальної дисторсії;

$p_1, p_2$  – коефіцієнти тангенціальної дисторсії;

$r$  – радіус-вектор розраховується за формулою 2.2:

$$r = \sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2} \quad (2.2)$$

де  $x_0, y_0$  – координати головної точки знімка.

Вважається що у сучасних оптичних системах усунуто недолік, тому параметри тангенціальної дисторсії практично не оцінюють.

Модель враховує радіальні спотворення, які виникають через похибки в установці лінзи паралельно площині зображення. Використання цих рівнянь дозволяє компенсувати спотворення зображення, що дозволяє отримати більш точні результати вимірювань та аналізу об'єктів на знімках. Це спрощує процес

						Арк.
					КРМ.КІ.0.442-03.1.9	33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

моделювання та коригування спотворень і зменшує складність обчислень, що полегшує процес калібрування камери. Людське око здатне сприймати спотворення лише в тому випадку, якщо геометрична похибка перевищує два відсотки. Але це вже може бути занадто високим показником для багатьох програм.

Критерієм оцінювання точності фотограмметричного калібрування цифрової камери є визначення залишкових похибок координат вимірюваних на знімку точок. Ці похибки показують наскільки точно параметри камери визначаються під час калібрування. Зазвичай ці значення залежать від типу камери і мають бути в межах від 0,15 до 0,5 пікселя [4].

### 2.2.2 Швидке зіставлення сцен

Швидке зіставлення сцен є ключовим етапом у фотограмметрії, що дозволяє точно визначити взаємне положення та орієнтацію знімків у просторі для подальшої побудови тривимірних моделей об'єктів. Цей процес охоплює визначення елементів зовнішнього орієнтування знімків, таких як координати центра проєкції та кути орієнтації, а також коригування цих параметрів для досягнення відповідності реальному об'єкту на знімках.

Основним завданням під час використання фотознімків для географічних досліджень є дешифрування зображень. Дешифрування включає:

- розпізнавання/виявлення об'єктів на знімку та віднесення їх до певного типу;
- вимірювання (визначення розмірів, кількості об'єктів на одиницю площі, вимірювання відстаней між об'єктами);

Серед дешифрувальних зображуваних ознак також тон та колір, розмір і форма, текстури, малюнок. тіні, розташування та зв'язок з іншими об'єктами. Автоматизоване дешифрування має особливість. Ця особливість полягає в тому, що реальні об'єкти, які розташовані на поверхні землі, мають бути представлені у вигляді окремих елементів – пікселів. В пікселях фіксується спеціальна відбивальна здатність цих об'єктів.

					<i>KPM.KI.0.442-03.1.9</i>	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Тобто, дешифрування об'єктів за фотографіями чи зображеннями, отриманими в інший спосіб, здійснюється опосередковано, шляхом моделювання спектрального простору. Цей простір є ортогональним і його розмірність дорівнює кількості знімальних зон. Кожен піксель багатозонального зображення зі своїм набором спектральних значень являє собою точку в цьому просторі. Таким чином всі об'єкти на зображенні являють собою компактну безліч точок в спектральному просторі з ознаками, які характеризують об'єкт.

При виконанні автоматизованого аналізу зображень як правило вдається врахувати не всі ознаки. Вдається врахувати тон, колір та розмір. Загалом всі ознаки, використовувані в межах автоматичного аналізу поділяються на ознаки яскравості, геометричні ознаки та комплексні ознаки.

Основними і часто єдиними ознаками є саме ознаки яскравості. При обробці багатозональних зображень вони найбільш зручні, тому що створюють багатовимірну числову характеристику кожної точки дешифрованого об'єкта.

Попри те, що природні об'єкти мають специфічні спектральні характеристики, ознаки яскравості не є цілком надійними. Річ у тому, що спектральна яскравість може легко спотворюватися в процесі фотообробки. Вона залежить від рівня освітленості об'єкта при зйомці, тобто від висоти Сонця, часу доби та пори року. Також на неї впливають атмосфера, кут поля зору, рельєф місцевості та інші фактори. Цим обумовлена неоднозначна відповідність об'єкта і його дешифрувальних однак. Тобто вірогідність дешифрування може знижуватися.

Проте, попри вказані недоліки використання ознак яскравості, розпізнаванні об'єктів здійснюється саме з застосуванням коефіцієнтів спектрального відбиття, незалежно від способів подальшого подання та модифікації вхідних даних, отриманих з багатозональних зображень.

Варто зауважити, що «спектральний образ» об'єкта, який складається на основі визначеного за зональними зображеннями обмеженого набору спектральних яскравостей, не може бути інформативнішим за вимірювані коефіцієнти спектральної яскравості об'єкта. З цієї причини

					<i>KPM.KI.0.442-03.1.9</i>	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

середньоквадратична похибка у визначенні коефіцієнтів спектральної яскравості за фото (крім опису якості вихідного знімального матеріалу) одночасно характеризує і максимальну можливу точність ідентифікації об'єктів та їхніх зображень.

Зазвичай величини спектральних ознак пікселів об'єкта на однакові. Вони варіюються в певних діапазонах і це видно на гістограмі. Діапазони спектральних ознак різних об'єктів іноді частково перетинаються. Тобто виконана за цими ознаками класифікація не є абсолютно достовірною.

Щоб підвищити надійність класифікації можна підвищити точність вимірювання та збільшити кількість ознак. Найпростіший з технічного погляду спосіб це зробити для ознак яскравості – збільшення кількості каналів багатозональної знімальної техніки. Також можна використати багатогодинні знімки. Для наочності спектральні образи часто позначаються графічно за допомогою кусково-лінійних кривих.

Щодо геометричних ознак, то до них належать форма, розмір та топологічні властивості, такі, наприклад, як зв'язаність та кількість проміжків.

Комплексні ознаки являють собою специфічне поєднання перших двох видів, тобто ознак яскравості та геометричних ознак. Комплексні знаки визначають структуру та текстуру зображень. Мова про структуру та текстуру, що характерні для певних об'єктів чи природних утворень.

Комплексні ознаки є найбільш ефективними та найстійкішими. Проте їх складно формалізувати. До того ж їх використовують в алгоритмах контрольованої класифікації у разі, коли контрольована класифікація здійснюється за еталонами, тобто тестовими ділянками.

Серед базових ознак, використовуваних при візуальному аналізі зображень, є такі ознаки, як тональність знімка/щільність фототону, форма об'єкта, структура поверхні об'єкта, його текстура, а також затіненість та асоціації.

					<i>KPM.KI.0.442-03.1.9</i>	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

### 2.2.3 Математичні методи для фотограмметрії

Математичні методи для фотограмметрії, зазвичай ділять на дві групи:

- попереднє опрацювання зображення, отриманого за допомогою різних видів обладнання;
- фотограмметрична побудова моделі досліджуваних об'єктів.

Метод попереднього опрацювання зображень полягає в усуненні дефектів або змін образу, що виникають під дією зовнішніх або внутрішніх чинників, таких як спотворення фотографічного матеріалу, похибки при скануванні зображення тощо. Під час опрацювання виправляються розмір і форма зображення, таким чином, щоб відповідати оригінальним значенням. Загалом суть цього методу базується на тому, що знімок буде поданим у вигляді сукупності плоских прямокутних координат  $(x, y)$ , які з найбільшою точністю відповідають їхнім істинним значенням  $(x_0, y_0)$ . Також цей метод дозволяє покращити якість знімка за рахунок радіометричних характеристик (контраст, оптична щільність, кольорова гама тощо).

Другий метод – це фотограмметричні побудови. Вони ґрунтуються на класичних задачах аналітичної геометрії. Наприклад, як зазначено в роботі [2]:

- визначення просторових координат точок об'єкта з поодинокого знімка та стереопари;
- перехід від нахилоного знімка до горизонтального у заданому масштабі (трансформування поодинокого знімка);
- пряма та обернена фотограмметричні засічки;
- взаємне орієнтування пари знімків;
- зовнішнє (абсолютне) орієнтування фотограмметричної моделі об'єкта;
- побудова опорних мереж способами фототриангуляції;
- цифрове ортофототрансформування (створення цифрових ортофотокарт);
- побудова цифрових моделей об'єктів, цифрових моделей рельєфу місцевості.

					<i>KPM.KI.0.442-03.1.9</i>	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Як видно з переліку ці завдання спрямовані на аналіз зображень для визначення різних параметрів об'єктів та місцевостей [2]. Вони становлять базу аналітичної геометрії.

### 2.3 Особливості фотограмметрії складних об'єктів

Технологія фотограмметрії має складності з відтворенням деяких об'єктів:

1. Прозорих та блискучих об'єктів. Як спосіб вирішення проблеми, можна використати попередню обробку об'єкту спреєм з фарбою і потім вже накласти текстуру, але це підходить не для всіх об'єктів.

2. Деякі тонких об'єктів, таких як, наприклад, листя чи пелюстки.

3. Занадто великих об'єктів.

Не має проблем відтворити великі об'єкти, якщо скануванням і відтворенням займається команда професіоналів, є необхідне високоякісне обладнання по типу професійних камер, дронів з камерами (у яких висока роздільна здатність), використовується технологія лазерного сканування.

В інших випадках при відтворенні об'єктів, які мають великий розмір, виникають складнощі, пов'язані з обмеженою кількістю даних для обробки. При вирішення проблеми відтворення об'єкту великого розміру реалізуються наступні підходи:

1. Використання декількох зроблених у різних умовах наборів фотографій або відео. Це допоможе доповнити відсутню інформацію і також допоможе детальніше відтворити текстуру. Після обробки зображень і утворення меша, отриманий результат експортують для подальшого редагування.

2. Поділення меша на декілька частин. Перша частина – це те, що вдається відтворити за набором фото. Друга частина – це те що має недоліки відтворення через неможливість відзняти об'єкт повністю.

3. Оптимізація моделі. Глибина оптимізації залежить від призначення моделі: для невеликої анімації досить незначної оптимізації, але для використання в іграх або у застосуваннях реального часу, потрібна значна оптимізація. Для цього робиться ретопологія наявної *high poly* моделі, в

					KPM.KI.0.442-03.1.9	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		



її для подальшої роботи з моделлю. Ретопологія необхідна для проблемної топології, яку ми отримуємо після роботи з фотограмметричним програмним забезпеченням.

Хоч *Reality Capture* дозволяє зменшити кількість полігонів, цього буває недостатньо щоб далі працювати з моделями.

Наприклад, якщо у моделі створеної за допомогою фотограмметрії є певні недоліки, які необхідно виправити, зручніше це буде зробити зі спрощеною сіткою, яка має невелику кількість полігонів. Оптимізовані моделі легше анімувати, доопрацювати тощо.

Головне на цьому етапі – враховувати кількість полігонів і якість фінального мешу, щоб зберегти деталі. Серед інструментів для ретопології, є такі варіанти:

- *Voxel*;
- *QuadriFlow Remesh*;
- модифікатор *Decimate* у програмі *Blender*;
- програма для спрощення сітки *Instant Meshes*;
- аддон *Jremesh Tools*.

Другим підходом до оптимізації є формування *UV* розгортки та запікання текстур.

Для того, щоб нанести на *3D* модель текстури, необхідно створити *UV* розгортку. По суті це процес, який переносить *3D* модель на *2D* площину. Від положення, обертання, масштабування цієї площини залежить кінцевий результат текстури, яку буде перенесено на модель.

Створення розгортки дозволяє точно нанести текстуру на *3D* модель і використовувати дифузні карти, карти нормалей, та інші текстурні карти.

Навіть якщо ми не змінювали ретопологію, то для *high* версії моделі після відтворення текстур у програмах для фотограмметрії вони виглядають хаотично розкиданими. Також після ретопології створених моделей за допомогою інструменту спрощення сітки *Instant Meshes*, з них зникають текстури. Для подальшої роботи потрібно зробити нову *UV* розгортку.

					<i>KPM.KI.0.442-03.1.9</i>	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Для того, щоб зробити *UV* розгортку треба почати з розстановки швів на *3D* моделі. За цими швами модель буде «розрізано» і розгорнуто на площині, що створює *UV* мапу, яка дозволяє перенести текстури. Цей процес можна порівняти з «чисткою апельсина», необхідно зробити кілька надрізів на шкірці і зняти її, після цього вирівняти її. Через це надрізи шкірки, можна порівняти з розстановкою швів.

Правильно створена розгортка, забезпечує точність перенесення запечених текстур на модель, зі збереженням всіх деталей і забезпечуючи високу якість фінальної моделі.

Після створення розгортки, необхідно запекти текстури. Під бейкінгом текстур мається на увазі процес переносу інформації на текстурні карти. Ці карти формують поверхню майбутнього матеріалу.

*Diffuse Map* – це основна текстурна карта, яка містить інформацію про зображення та колір поверхні моделей.

*Normal Map* – ця карта нормалей містить інформацію, яку використовують для імітації нерівностей на поверхні.

Цей процес дозволяє перенести текстури з *high poly* моделі на *low poly*. Використання запечених текстур дозволяє низькополігональним моделям виглядати так само деталізовано, як і високополігональні моделі.

## 2.5 Проєкт сцени

Проєктування сцени – це попереднє розташування об’єктів у просторі. Це потрібно для того, щоб після сканування об’єктів їх розташувати на сцені. Для того, щоб розуміти на якому місці розташувати об’єкти, треба спочатку створити проєкт цієї сцени.

Це полегшить процес роботи і робить результат більш вражаючим. Щоб у нас було уявлення про наповнення сцени є сенс створити простий макет. Проєктування дозволяє попередньо зрозуміти, як і чим буде наповнено сцену, попередньо уявити потрібні матеріали. Такий макет допоможе отримати загальне уявлення про розташування та взаємодію об’єктів на сцені. Штучне

					KPM.KI.0.442-03.1.9	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

зіставлення сцени дозволяє уявити проєкт, ще до візуалізації, що зменшує витрати часу та ресурсів.

Макет сцени (рис. 2.6) включає основні елементи:

- террейн – плоска ділянка вкрита травою є основою сцени;
- альтанка – головний акцент сцени;
- пам'ятник – встановлений неподалік альтанки;
- дерева – розміщені навколо сцени для створення природного фону;

Макет сцени (рис. 2.6) також включає допоміжні елементи:

- лавка – стоїть навпроти альтанки, забезпечуючи місце для відпочинку;
- ліхтар – декоративний елемент місця відпочинку;
- декоративна огорожа – стоїть навпроти альтанки за лавкою, щоб імітувати захист та завершеність композиції.

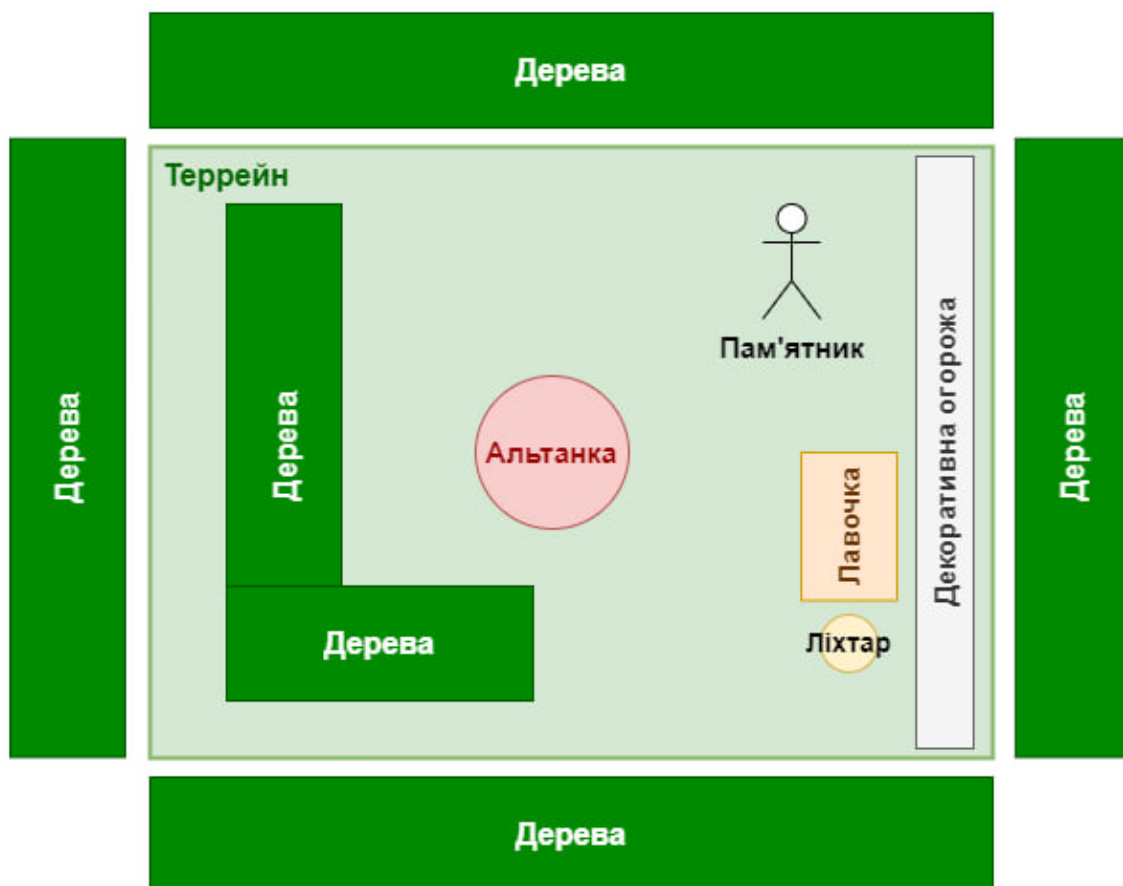


Рис. 2.6 – Проєкт сцени

					KPM.KI.0.442-03.1.9	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Для демонстрації сцени створюється анімаційний ролик, який має містити наступні моменти:

1. Запис екрана з використанням *Google Earth*, щоб показати загальну локацію. *Google Earth* не дозволяє приховати мітки, ми використаємо пустий файл обманку зроблену у *Photoshop*. Це дозволить потім, самостійно зробити дизайн і анімацію мітки.

2. Створення власної мітки та тіні для неї у *Photoshop*.

3. Підготовку однакових за розміром картинок курсорів. Заздалегідь створити анімацію, зміни курсора.

4. Імпорт мітки в *After Effects* і створення loop анімації для неї.

5. Анімація руху і зміни курсора.

6. Налаштування переходу *Smooth Blur Zoom-In Transition* в *After Effects*, щоб імітувати перехід, подібний до *GoogleMaps*, до локації від першої особи.

7. Використання створених анімацій (рис. 2.7) з відтвореними об'єктами.

					<i>KPM.KI.0.442-03.1.9</i>	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

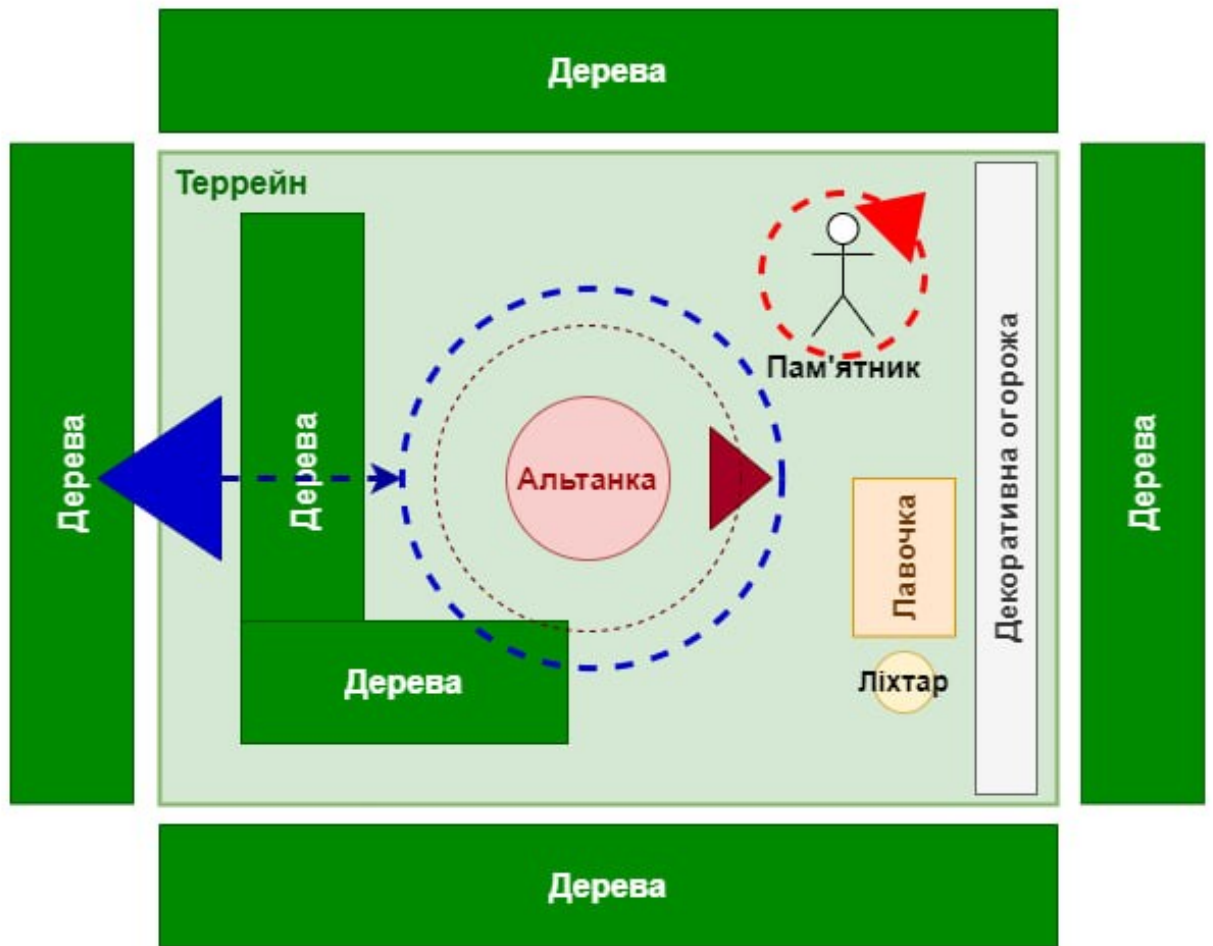


Рис. 2.7 – Рух камери

## 2.6 Збір вхідних даних

### 2.6.1 Вибір знімального обладнання

Для створення моделей можна робити фото на будь-який пристрій з камерою, це можуть бути звичайні смартфони, камери, дрони з камерами, професійне обладнання, деякі компанії використовують лазерне сканування.

На основі отриманих зображень можна відтворити об'єкт у 3D середовищі, але все-таки характеристики камери впливають на якість моделі, яку буде отримано в результаті. Чим якісніші фото, тим точніше і краще буде відтворено об'єкт.

Усі фото для створення моделей було зроблено на камеру *NIKON D5600* 18-140 VR. Нижче у таблиці 3.1 наведені характеристики:

					<i>KPM.KI.0.442-03.1.9</i>	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Характеристики камери *NIKON D5600 18-140 VR*

Тип камери	Дзеркальна
Матриця	23.5 x 15.6, <i>CMOS, DX</i>
Роздільна здатність матриці	24.2 мегапікселів
Максимальний розмір знімка	6000*4000
Максимальна роздільна здатність відео	<i>Full HD (1920x1080)</i>
Фокусна відстань	18 - 140мм
<i>ISO</i>	100-25600
Оптичне збільшення	5.8x

Камера має непогані характеристики для створення моделей за допомогою фотограмметрії. На точність впливають час та погодні умови за яких проводиться зйомка. Нижче (рис. 2.8) наведені приклади погодних умов у яких зроблені фото для відтворення альтанки.



Рис. 2.8 – Приклади з наборів зроблених фото

Перший варіант є оптимальним у цьому випадку, відсутні тіні. За таких умов немає затемнення частин об'єкта і спотворень, що полегшує аналіз зроблених зображень.

					<i>KPM.KI.0.442-03.1.9</i>	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

## 2.6.2 Підготовка даних для фотограмметрії

1. Альтанка. Щоб відтворити альтанку у вигляді 3D моделі зроблено декілька наборів фото, та обраний найбільш вдалий варіант. В середньому в одному наборі близько 500 зображень. Оскільки альтанка має великий розмір, проблематично відзняти дах. Робилися спроби з використанням монопода, високого штатива та з використанням дрона. Щоб відтворити форму даху і потім допрацювати текстуру було обрано бюджетний дрон для новачків *Holy Stone HS280*.

Камера дрона *Holy Stone HS280* здатна записувати відео у *Full HD* з роздільною здатністю 1080p зі швидкістю 25 кадрів в секунду і робити фотографії роздільною здатністю 1920\*1080 пікселів. Кут огляду камери 60°, також можна нахилити камеру вертикально вниз на кут до 80°. Якість фото і відеозйомки відповідає ціновому діапазону. Камера дозволяє знімати якісні фото та відео з висоти польоту, зображення можна переглядати в реальному часі на смартфоні.

Спроби відзняти дах з дрона були невдалими: завадили дерева навколо альтанки. Бюджетні дрони не здатні уникати перешкоди, тому виникла проблема з тим що дрон застрягав у гілках (рис. 2.9).



Рис. 2.9 – Зйомка з дрону

					<i>KPM.KI.0.442-03.1.9</i>	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Загалом, було зроблено 5 наборів фото для альтанки, з яких 2 підійшли для подальшої роботи. Були зроблені фото навколо альтанки таким чином, щоб у них були спільні риси і перекриття. Також фото всередині альтанки та детальні фото інших елементів (рис. 2.10).



Рис. 2.10 – Приклади з оптимальних наборів фото

2. Пам'ятник. Для відтворення пам'ятника було зроблено 2 набори фото, в середньому по 200 фото. Другий набір виявився більш вдалим. Спочатку були зроблені фото навколо пам'ятнику. Щоб відтворити потилицю було відзнято відео (яке потім було розбито на кадри), для цього, прикріпивши камеру на монопод, обійшли пам'ятник по колу. Було відзнято дрібні деталі (рис. 2.11).

					<i>KPM.KI.0.442-03.1.9</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		47



Рис. 2.11 – Деталі для набору фотознімків пам'ятнику

3. Дерево. Для відтворення дерева зняті фото трьох різних дерев. В середньому для кожного дерева в наборі фото вийшло близько 100 фото (рис. 2.12).



Рис. 2.12 – Приклади з трьох різних наборів

Вдалим виявився третій комплект фото.

### Висновки до другого розділу

1. Розроблено пайплайн і описано порядок робіт, якого необхідно дотримуватися під час роботи над проектом.

					<i>KPM.KI.0.442-03.1.9</i>	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

2. Розглянуто методи фотограмметрії, а також особливості відтворення деяких об'єктів. Проаналізовано методи оптимізації, які далі будуть використовуватися у реалізації.

3. Створено макет сцени згідно, якого далі буде сформована сцена і подальша її візуалізація.

					<i>KPM.KI.0.442-03.1.9</i>	<i>Арк.</i>
						49
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дат</i>		

## РОЗДІЛ 3 РЕАЛІЗАЦІЯ

### 3.1 Порівняння результатів створення 3D-моделей різними засобами фотограмметрії

#### 3.1.1 RealityCapture

Програма *RealityCapture* була випущена словацькою компанією *Capturing Reality*. Має доволі простий і зрозумілий інтерфейс. При роботі з цією програмою є два підходи для створення моделей:

1. Автоматичний. Програма автоматично аналізує та обробляє надані фотографії без втручання користувача. Цей підхід має свої недоліки тому, що не враховуються потреби користувача і модель може бути не точною.

2. Інтерактивний. Потребує активної участі користувача на кожному етапі роботи.

Одна з переваг *RC* це можливість імпортувати значну кількість даних без обмежень. Це означає, що користувачі можуть використовувати багато фотографій та інших вхідних даних, щоб створити точні тривимірні моделі. Такий підхід дозволяє створювати складні і деталізовані моделі без необхідності обмежувати себе обсягом вхідних даних.

Імпортувати дані (рис. 3.1) для подальшої роботи можна в таких форматах, як зображення (*JPEG, PNG, TIFF, EXR, WEBP, BMP, DNG, RAW*), відео (*MPEG, AVI, ASF, QT, MOV, VMW*), результати лазерного сканування (*PTX, E57, PLY, ZFS and ZFPRJ*), 3D моделі (*OBJ, FBX, DXF, DAE*).

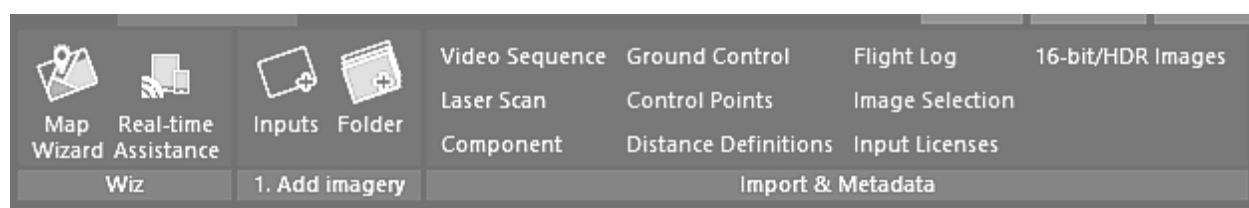


Рис. 3.1 – Імпорт даних

					KPM.KI.0.442-03.1.9	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Час, який потрібен на аналіз та обробку зображень залежить від обсягу завантажених даних і характеристик комп'ютера. Також розрахунки залежать від того, який рівень деталізації було обрано.

Загалом головні переваги використання цієї програми, це відсутність ліміту на імпорт даних, швидка обробка, інтуїтивно зрозумілий інтерфейс, багато різних навчальних матеріалів (різними мовами), постійні оновлення і покращення софту, безкоштовне використання. Основний недолік – деякі функції можуть не працювати, або працювати некоректно.

Обробка даних *Reality Capture*. Для того щоб почати роботу, імпортуємо зроблені фото об'єктів. Програмні засоби фотограмметрії, не можуть «домальовувати» об'єкт, якщо відсутня необхідна інформація на фотографіях.

Наступний крок – вирівнювання імпортованих зображень. Під час цього процесу програма автоматично аналізує фотографії та визначає положення та орієнтацію об'єктів у просторі. У цьому випадку ми імпортуємо 675 зроблених з різних ракурсів фото альтанки. Для того, щоб почати процес вирівнювання користувач має натиснути *Align Images*(рис. 3.2).

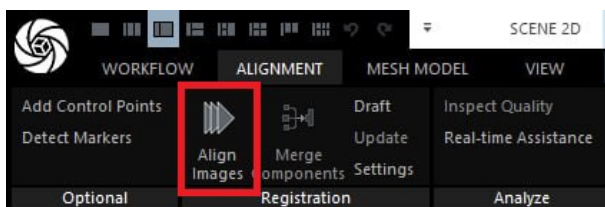


Рис. 3.2 – Вирівнювання

Процес вирівнювання для альтанки тривав майже 20 хвилин, для пам'ятника 10 хвилин. Після цього генерується тільки розріджена хмара точок. Щоб зменшити час розрахунків, можна одразу «відрізати» зайве. Це можна зробити використовуючи інструменти виділення. Також можна змінити розміри *Reconstruction Region* (або створити новий за потреби) і натиснути стрілку біля *Clipping Box > Create From Reconstruction Region*. Це видалить зайві фрагменти та суттєво зекономить час розрахунків для моделей (рис. 3.3).

					KPM.KI.0.442-03.1.9	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

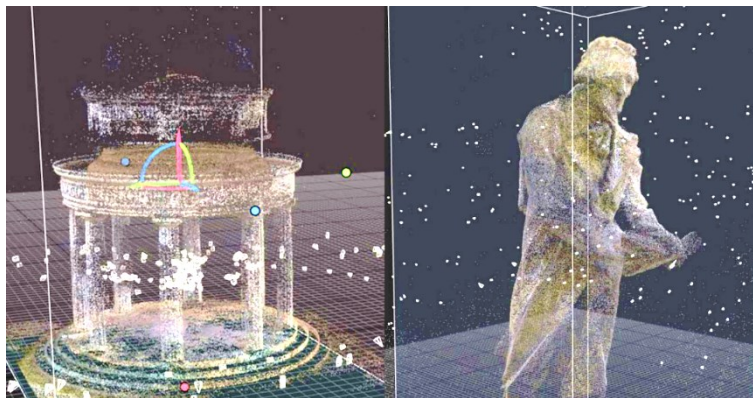


Рис. 3.3 – Розріджені хмари точок для обох об'єктів

Контрольні точки. Простим способом додати контрольні точки, є встановити точки спочатку на створеній розрідженій хмарі, а потім відредагувати положення цих точок на фото.

Далі створимо меш для моделі, користувач може обрати декілька варіантів *Preview*, *High Detail*, *Normal Detail*. Ми будемо використовувати режим *Normal Detail* через те, що цього достатньо і він не триває так довго, як *High Detail*. Даний процес для альтанки зайняв 50 хвилин, для пам'ятника 30 хвилин. Далі трохи спростимо наші моделі, це можна зробити обравши *Simplify Tool* і ввести бажану кількість полігонів. Так, наприклад початковий меш альтанки мав 77,9 млн полігонів, після використання цього інструменту вдалося зменшити цю кількість до 1 млн. Пам'ятник мав 56,6 млн полігонів, після зменшення 500 тис. полігонів (рис. 3.4). Використовувати цей інструмент треба обережно, якщо обрати і ввести занадто мале значення модель буде деформована.



Рис. 3.4 – Згенеровані меші

Також після використання інструменту *Simplify Tool* необхідно почистити та перевірити модель. Спочатку обираємо інструменти *Close Holes* та *Clean Model*. Далі обов'язково необхідно перевірити моделі за допомогою інструментів *Check Integrity* та *Check Topology*. Після цього з'явиться віконця де буде описаний стан перевіреної моделі. Всі ці операції займають декілька секунд.

Далі йде етап відтворення текстур. Користувач може просто натиснути *Texture* і програма автоматично відтворить текстуру. Загалом цього достатньо, але за потреби користувач може обрати налаштування під свої потреби. Чим вище якість текстур, тим довше триває процес обробки. Для альтанки процес обробки тривав близько години, для пам'ятника 10 хвилин.

Для подальшої роботи експортуємо модель у форматі *obj*. Без врахування встановлення контрольних точок, та перевірок час роботи з альтанкою зайняв 2 години 16 хвилин. Обробка і розрахунки для пам'ятника зайняли 50 хвилин.

### 3.1.2 Meshroom

*Meshroom* також безкоштовне програмне забезпечення для фотограмметрії з відкритим кодом, засноване на системі *AliceVision* (фотограмметрична система комп'ютерного зору). Цей проєкт є результатом співпраці між академічними та промисловими організаціями. Для коректної роботи *Meshroom* знадобиться операційна система *Windows x64*, *Linux* або *macOS*, а також мінімум 8 ГБ оперативної пам'яті. Щоб отримати кращу продуктивність, рекомендується мати процесор *Intel Core i7* або *AMD Ryzen 7*, не менше 32 ГБ оперативної пам'яті і необхідне місце на жорсткому диску. Також *Meshroom* потребує наявності відеокарти *NVIDIA* останнього покоління з підтримкою версії *CUDA 3.0* або вище для ефективного виконання обчислень.

При запуску *Meshroom*, відкриваються два вікна:

1. Вікно інтерфейсу командного рядка.
2. Основний графічний інтерфейс користувача з різними панелями.

Аналогічно *RC*, *Meshroom* також немає ліміту на імпорт даних. При роботі з цією програмою є два підходи для створення моделей:

					KPM.KI.0.442-03.1.9	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		



Рис. 3.5 – Вигляд вузлів в *Meshroom*

За замовчанням *Meshroom* використовує унікальний ідентифікатор для назв вихідних папок, щоб запобігти перезапису даних, і вже обчислені результати проєкту можна було використовувати повторно.

*Meshroom* підтримує такі формати як *jpg, jpeg, tif, tiff, png, exr, rw2, cr2, nef, arw*. Проте, при використанні зображень у форматі *raw* може виникати проблема. Підтримувані формати 3D *Alembic (abc), obj, ply, sfm*.

З основних переваг цієї програми слід виділити, що вона безкоштовна, має актуальні навчальні матеріали і підійде для сканування об'єктів, які не мають складної форми. З недоліків програма не пропонує інструментів редагування сітки, тому користувачеві потрібно використовувати сторонні редактори. Також *Meshroom* має тенденцію відхиляти значний відсоток позицій камери, тому надзвичайно важливо дотримуватися вказівок щодо фотографування об'єктів. Багато користувачів вказують у своїх відгуках на те що головним мінусом є занадто довгий час обробки.

Обробка даних *Meshroom*. Для того, щоб почати роботу необхідно імпортувати зроблені фото. При роботі з *Meshroom* імпорт двох наборів фото є зайвим, оскільки виникають спотворення. Ідеальним набором при роботі з яким не виникає спотворень, це фото зроблені в туману погоду. Створюємо новий проєкт *File > New Pipeline > Photogrammetry*, щоб імпортувати фото достатньо просто виділити необхідний набір в папці з фото і перетягти їх у віконце з лівого боку *Image Gallery*.

Після імпорту 447 фото альтанки, запускаємо вузол *CameraInit*, після цього у вікні *Image Gallery* з'являться піктограми біля фото, у яких буде зазначено чи підходять ці фото (рис. 3.6) для подальшої роботи. Для обох об'єктів це зайняло трохи більше секунди.

					КРМ.КІ.0.442-03.1.9	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

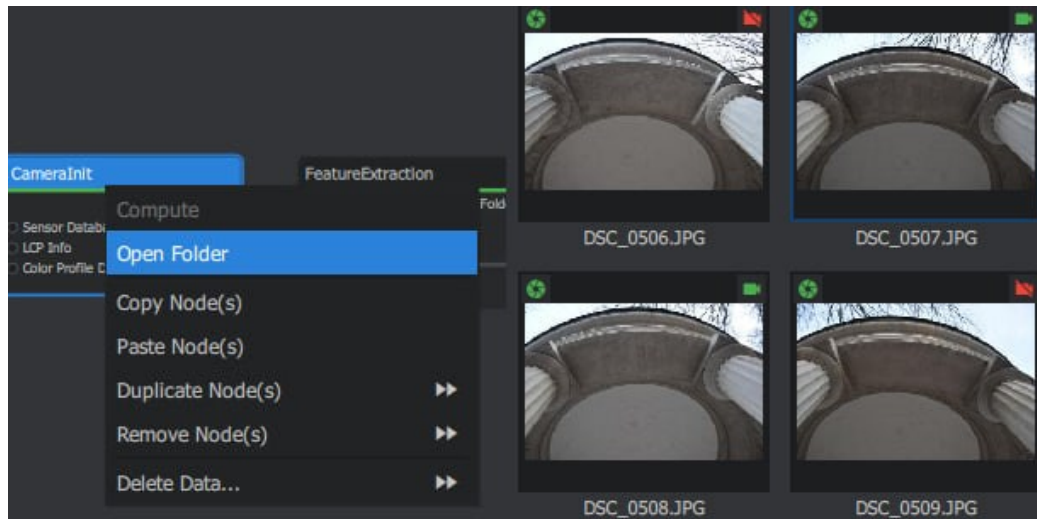


Рис. 3.6 – Запуск вузла і результати перевірки

Далі запускаємо нод *StructureFromMotion*, генеруємо розріджену хмару точок. Можна налаштувати інший вузол, щоб створити щільну хмару, але це займе більше часу розрахунків. Процес обробки враховуючи проміжні вузли становить для альтанки 2 години 40 хвилин. Для створення хмари точок 1,5 години (рис. 3.7).

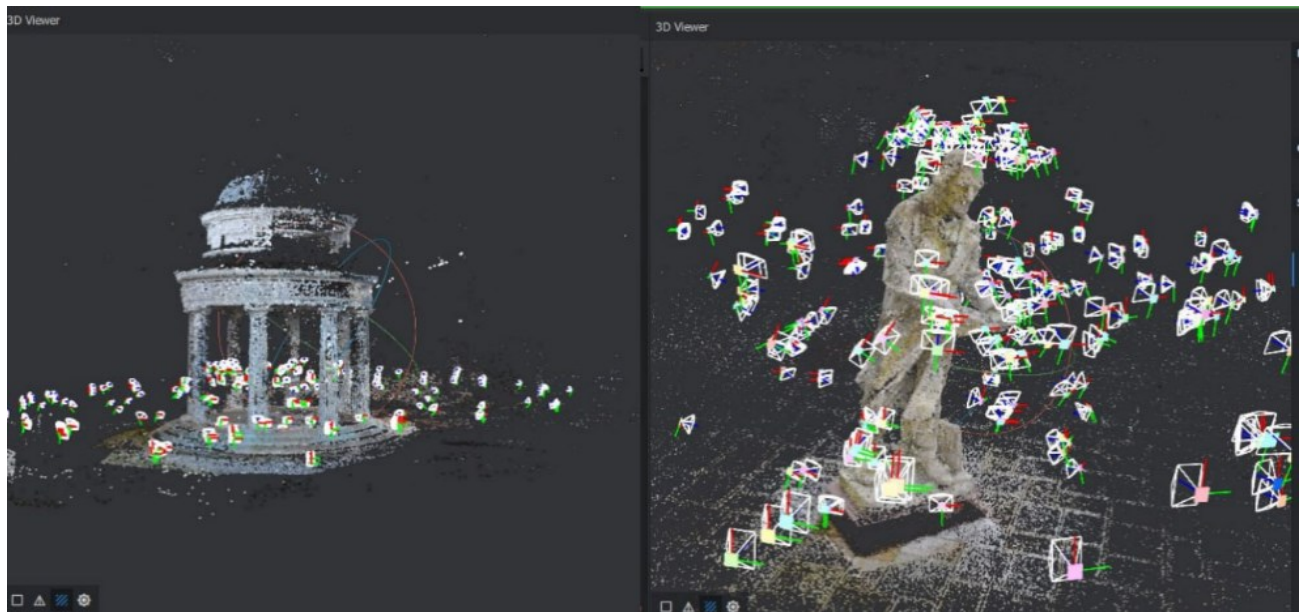


Рис. 3.7 – Розріджені хмари точок

Для того, щоб зменшити час розрахунків натискаємо на нод *Meshing* і у вікні з інформацією про вузол активуємо *Custom Bounding Box* (рис. 3.8), а також обираємо формат для моделі *obj*.

					KPM.KI.0.442-03.1.9	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

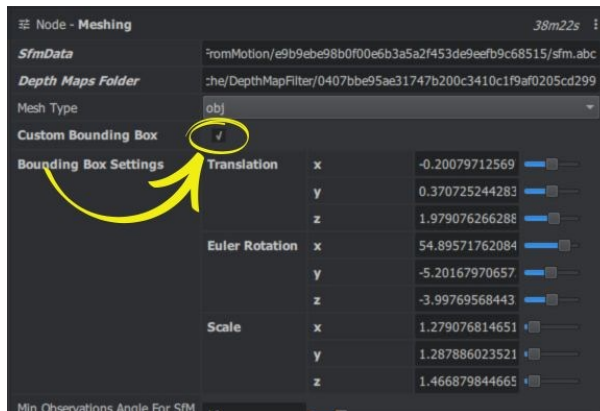


Рис. 3.8 – Активація додаткових інструментів

Після цього навколо об'єкту з'явиться *Vox* у якого можна налаштувати розмір та кут нахилу. Чимось нагадує *Reconstruction Region* з *Reality Capture*, але з складним налаштуванням. Це дозволяє виділити фрагмент необхідний для розрахунків і економить час.

Запускаємо вузол *Meshing*. Для альтанки процес розрахунків зайняв 4 години. Для пам'ятника 3 години. Після цього з правого боку деактивуємо показ хмари точок і можемо побачити наш меш. Як бачимо (рис. 3.9) меш альтанки вийшов спотвореним, звісно використовуючи додатково графічні редактори, таких як *Blender* можна вже спростити меш і видалити зайве (знову ж таки може призвести до проблеми у розрахунках). Для пам'ятника меш було відтворено без проблем. Кількість полігонів для альтанки становить майже 7 мільйонів, для пам'ятника це 5 мільйонів.

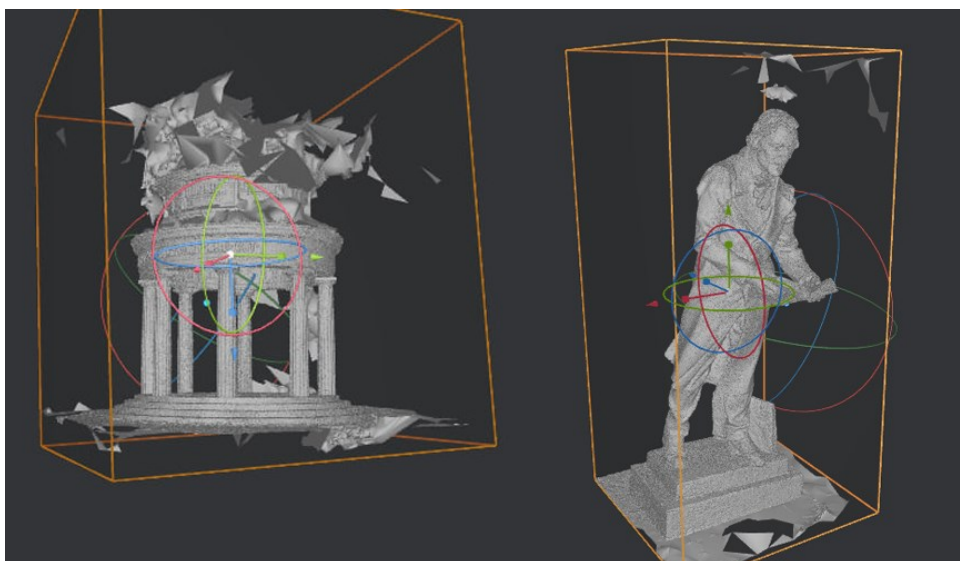


Рис. 3.9 – Згенеровані меші

					<i>KPM.KI.0.442-03.1.9</i>	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Перед тим як запустити процес розрахунків для текстур натискаємо на вузол *Texturing* і не забуваємо вказати необхідні формати для експорту, інакше доведеться перезапускати процес. Також обираємо розмір текстур і активуємо *Fill Holes* (рис. 3.10).

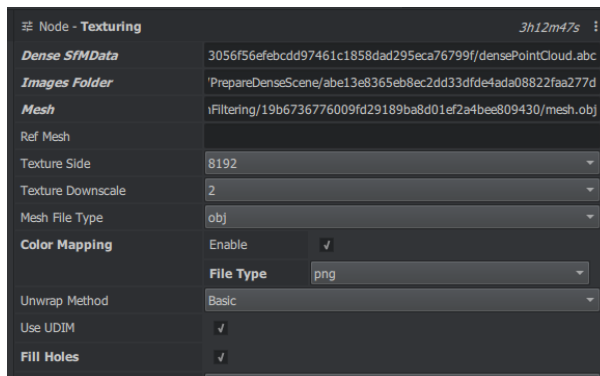


Рис. 3.10 – Налаштування для подальшого експорту текстур

Розрахунки тривали для альтанки 3 години, для пам'ятника 4 години. Загалом процес обробки для альтанки зайняв 10 годин, для пам'ятника 9 годин. У попередньої версії програми після всіх розрахунків з'являлася кнопка експортувати, тепер вже попередньо обравши формат файл зберігається автоматично (рис. 3.11).



Рис. 3.11 – Готові моделі

### 3.1.3 Agisoft Metashape

Це програмне забезпечення часто застосовується і має позитивні відгуки користувачів. Є багато матеріалів і туторіалів англійською мовою, але цей продукт створений розробниками з держави-агресора, тому не рекомендується для подальшого використання. У *Agisoft Metashape* є декілька версій для використання, *Professional* і *Standard*.

Програма має ліміт в 50 фото в безкоштовній версії, в пробній версії ліміт відсутній. Також підтримує різні типи вхідних даних для обробки. У цієї програми немає режиму автоматичного створення моделі, тому користувач має задавати і налаштовувати всі параметри обробки самостійно. Програма має застарілий інтерфейс і застарілі навчальні матеріали, оскільки вже є відмінності. Проте, процес обробки фотографій проходить так само як і в інших програмах фотограмметрії: калібрування камери, вирівнювання фотографій, створення розрідженої хмари, створення щільної хмари, формування мешу моделі та текстуровання. Чим вище встановлені параметри для обробки, тим довше буде йти процес розрахунків. Видалення зайвих точок з хмари не гарантує, що модель не буде спотворено.

Недоліки цієї програми відсутність нормального інтерфейсу для роботи, занадто довгий час обробки, деформація моделей, домальовування зайвих і непотрібних полігонів, спотворення текстур. Програма немає якихось переваг, оскільки інші розглянуті у цій роботі програми виконують всі ці аналіз і розрахунки набагато краще.

Обробка даних *Agisoft Metashape*. Працюючи з цією програмою, теж можна імпортувати декілька наборів фото, але можуть виникнути проблеми зі спотворенням моделі та недоліками у текстур. Наприклад використовуючи обидва набори виникає проблема з тим, що програма домальовує зайві елементи і спотворює колони. Щоб уникнути проблеми зі спотворенням колон (рис. 3.12), використано фото зроблені під час туману і декілька фото з іншого набору зсередини альтанки.

					<i>KPM.KI.0.442-03.1.9</i>	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		



Рис. 3.12 – Спотворення колон

Перед початком обробки зображень треба запустити аналіз імпортованих фотографій. Для цього натиснувши правою кнопкою миші на будь-яку фотографію з доданих, оберіть «*Estimate Image Quality...*» в параметрах налаштувань обирається «*All cameras*», для аналізу всіх зображень. Аналіз триває 10 хвилин.

Після цього заходимо у вкладку *Workflow* натискаємо *Align Photos*. Запускається процес вирівнювання, після якого буде згенеровано розріджену хмару точок. Загалом для кожного з об'єктів це зайняло майже 15 хвилин. Для подальшої роботи необхідно вже на цьому етапі «почистити» згенеровану хмару. Недостатньо просто виділити інструментом *Selection (Rectangle, Circle, Free-Form)* зайві точки і видалити їх. Також необхідно зменшити розміри області з якою ми працюємо, це можна обравши для *Region – Move, Resize, Rotate*. Якщо забути налаштувати розмір області з якою ми працюємо, процес обробки може тривати набагато більше.

Наступним кроком знов повертаємось до вкладки *Workflow* натискаємо *Build Point Cloud*. Для обробки альтанки, було обрано низьку якість *Low Quality* тому, що при занадто щільній хмарі важко редагувати спотворення між колонами. Процес створення хмари для альтанки тривав 3 години 2 хвилини. Для пам'ятника було обрано *Medium Quality* і процес генерації щільної хмари тривав 47 хвилин.

					<i>KPM.KI.0.442-03.1.9</i>	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		



Рис. 3.13 – Щільні хмари точок, для обох об'єктів

Після розрахунку і генерації хмари точок (рис. 3.13), сформуємо меш. Повертаємось до вкладки *Workflow* натискаємо *Build Model*. Для пам'ятника було обрано *Medium quality* і процес формування мешу зайняв 16 хвилин, кількість полігонів становить 3,7 млн полігонів. Для альтанки було обрано *Medium quality* і процес формування мешу зайняв 11 годин 19 хвилин, кількість полігонів становить 6 млн полігонів.

Перед тим як працювати з текстурами необхідно закрити діри. Для цього обираємо вкладку *Tools > Model > Close Holes*. Далі потягнувши повзунок треба обрати рівень, але треба слідкувати, бо, наприклад простір під куполом програма теж вважає дірою і може випадково закрити. Це необхідно зробити, оскільки інакше виникнуть проблеми з текстурами (наприклад гілки можуть бути, як текстура всередині купола). Процес (рис. 3.14) триває кілька хвилин.

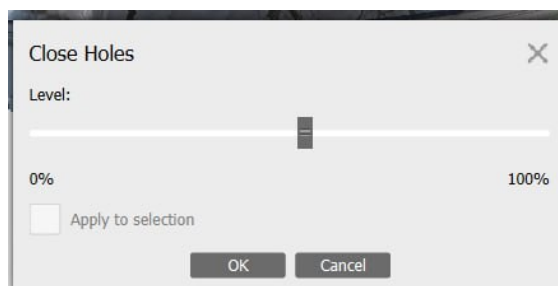


Рис. 3.14 – Інструмент редагування мешу

Далі запускаємо процес відтворення текстур. *Workflow > Build Texture*. Розмір текстури 8192, оскільки при меншому розмірі текстура виглядає

					<i>KPM.KI.0.442-03.1.9</i>	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		



ПЗ працює з різними вхідними даними, також можна працювати з результатами лазерного сканування.

Швидкість процесу залежить від кількості фото і обраної якості для створення хмари точок, та інших характеристик. Протягом всієї роботи з програмою, для кожного етапу користувачу пропонується обрати категорію серед налаштувань *Presets*, *Advanced* або *Custom modes*. Також можна обрати налаштування параметри для деталізації текстур.

Програма має 6 категорій для розрахунків щільності хмари точок, формування мешу та відтворення текстур *General* (універсальний), *Aerial* (для наборів даних з БПЛА), *Urban* (для міських пейзажів), *Human Body* (для сканування частин тіла), *Surface Scan* (для плоских поверхонь) та *Vertical Structure* (для вертикальних структур).

Під час розрахунків користувач, бачить імена під час обробки. Це все назви алгоритмів обробки *3DF Zephyr*. «*Samantha*» (*Structure from Motion*), «*Stasia*» (витягнення хмари точок), «*Sasha*» (створення сітки), «*Texturing*» (автоматичне текстурування). Щоб пояснити користувачам процеси обробки, розробники зробили на сайті пояснення для алгоритмів «*Stasia* спілкується зі *Samantha*, щоб дати якомога точнішу реконструкцію».

Як і у випадку з *Agisoft Metashape* програма має довгий час обробки, але результати виходять набагато краще і без спотворень.

Серед переваг цієї програми зрозумілий інтерфейс, для того, щоб продовжити використання версії без ліміту достатньо вказати іншу пошту, має багато категорій з яких можна обрати, багато інструментів для роботи. Серед недоліків довгий час обробки, не завжди правильно вказується час розрахунків, є проблеми з інструментами для ретопології, також з інструментом для закривання дір.

Обробка даних *3DF Zephyr*. Перший крок це імпортувати зроблені фото, у цьому випадку теж можна застосувати два набори зроблені у різний час. Для цього можна натиснути *New Project*, як нижче продемонстровано (рис. 3.16) або якщо користувач не ознайомлений з інтерфейсом програми обрати вкладку

					КРМ.КІ.0.442-03.1.9	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

*Workflow > New Project.* Відкриється нове віконце де треба натиснути *Next*, далі натискаючи «+» обираємо потрібні фото. Після того, як обрали фото знов натискаємо *Next* (рис. 3.16).

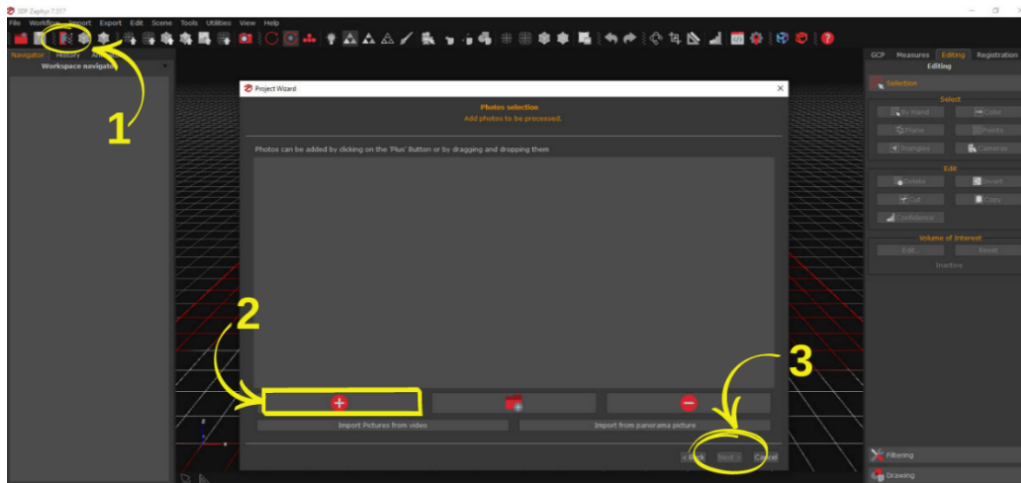


Рис. 3.16 – Етапи імпорту даних

Після завантаження фото додається інформація про їхній розмір та значення фокусної відстані об'єктива. Можна додати нове калібрування або модифікувати наявне.

Знов обираємо *Next*, після цього з'явиться меню з двома списками з яких треба обрати категорію яка відповідає потребам користувачів *General, Aerial - Nadiral images, Urban, Human Body, Surface Scan, Vertical Structure*. У другому списку *Presets* треба обрати щільність хмари точок *Fast, Default, Deep*. Для роботи з альтанкою обрано режим *Urban Deep*, бо фотографії були зроблені на різній відстані від об'єкта, а також змішані різні типи фотографій. Для пам'ятника режим *General Deep*. Натискаємо *Run*, щоб почати обробку (рис. 3.7). Через 37 хвилин аналізу для альтанки було згенеровано список, де зазначено, які фото підходять. Для пам'ятника аналіз тривав 6 хвилин.

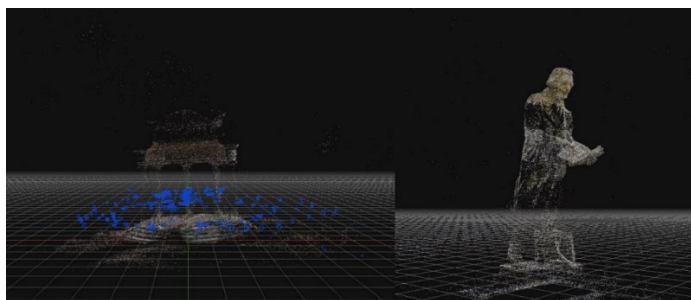


Рис. 3.17 – Розріджені хмари точок

					<i>KPM.KI.0.442-03.1.9</i>	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		



нагадує магнітне ласо з фотошопу, інструмент *Lasso* нам не підійде, ним треба працювати не відриваючи руки, що дуже незручно. Щоб не виділяти все частинами, переходимо у вид знизу і використовуємо *Poly* обводимо альтанку навколо сходів, далі інвертуємо обране і видаляємо все навколо окрім самого об'єкту. Аналогічні дії виконуємо для пам'ятника, але через те, що частина з книгою трохи виступає ніж п'єдестал, треба трохи відступити від основи(рис. 3.20).



Рис. 3.20 – Інверсія виділених точок

Контрольні точки. В *3DF Zephyr* можна додати точки декількома способами:

1. Прямий збір.
2. Додавання контрольних точок із зображень.
3. Імпорт контрольних точок із текстового файлу в *Zephyr*.

Для альтанки використовуємо 3 спосіб. Бо ми маємо справу з великим набором даних, імпорт опорних точок одночасно, без прокручування всього набору зображень, може значно заощадити час [16]. Зрозуміло, що все одно потрібно розмістити контрольні точки на зображеннях (рис. 3.21).

					КРМ.КІ.0.442-03.1.9	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

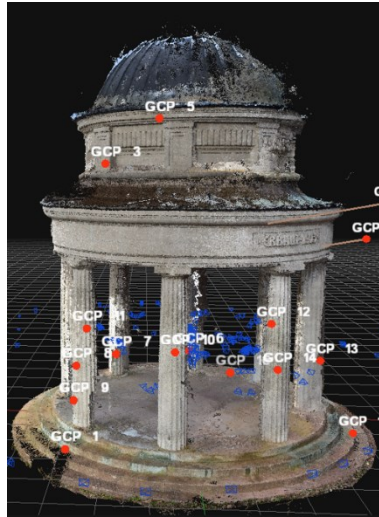


Рис. 3.21 – Контрольні точки для альтанки

Наступним кроком генеруємо меш для наших об'єктів. Знову треба обрати категорії. Для створення мешу альтанки встановлюємо *Urban High Details*, для пам'ятника *General Default*. Процес створення мешу (рис. 3.22) для альтанки становить 1 годину 52 хвилини, для пам'ятника 1 годину 55 хвилин.

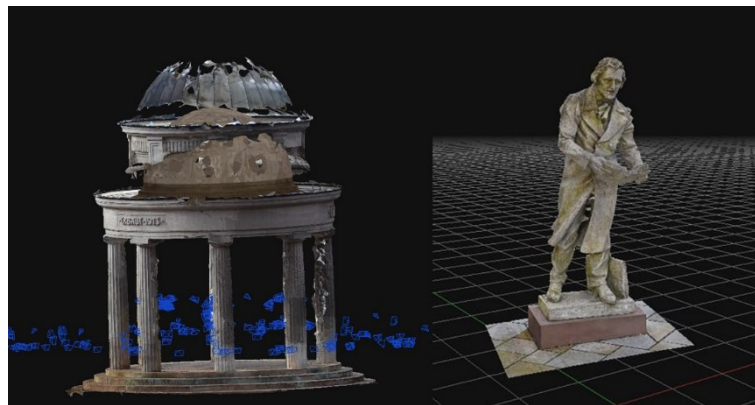


Рис. 3.22 – Згенеровані меші об'єктів

Перед тим як працювати з текстурами необхідно закрити діри. Для цього обираємо вкладку *Tools > Mesh Filters > Fill Holes Slective....* При роботі з цим інструментом деякий час йде підрахунок скільки отворів має модель.

Далі можна у списку обирати покроково і закривати, але це займає багато часу. Інший спосіб це обрати виділення *Select by size* одразу всіх отворів і переміщуючи повзунок поступово закривати. У другого способу є недолік, може закрити потрібні елементи. Також не обов'язково застосовувати цей метод до основного мешу, для цього інструменту є кнопка *Clone & apply filter* тоді буде

					<i>KPM.KI.0.442-03.1.9</i>	Арк.
						67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

створено копію для якої буде застосовано цю функцію. Використання цього інструменту займає час, чим більше отворів (рис. 3.23), тим довше буде тривати розрахунок. На закриття отворів у альтанки пішло 43 хвилини.

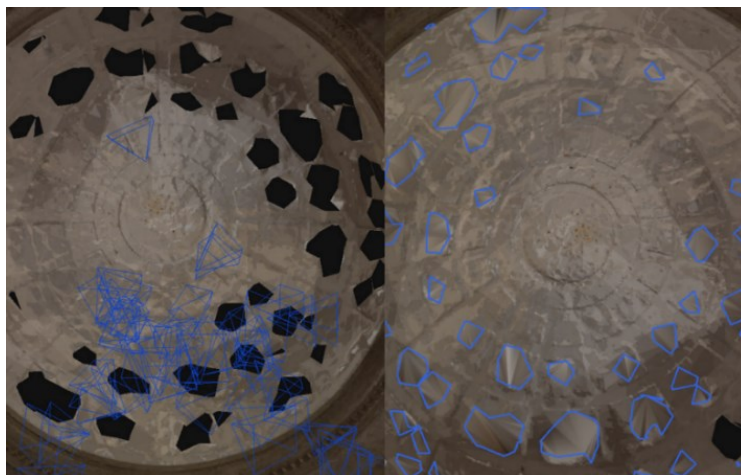


Рис. 3.23 – Результати використання *Close Holes* а)до використання б)після використання

Далі генеруємо текстури. Обираємо для обох моделей категорію *General* та *High Details*. Запускаємо процес натиснувши *Run*. Для пам'ятника текстури генерувалися 1 годину 31 хвилину. Для альтанки 1 годину 15 хвилин.

Програма також має функцію ретопології, але як і у випадку з *Agisoft Metashape* навіть не суттєві зміни дуже впливають на подальшу роботу з текстурами. Якщо не змінювати сітку подальша робота буде ускладнена для ПК з низькими характеристиками.

В результаті отримуємо модель альтанки з 13 мільйонів полігонів. Процес обробки і розрахунків для альтанки зайняв 5 годин. Пам'ятник має 11,6 млн полігонів і процес обробки тривав 4 години (рис. 3.24).

					<i>KPM.KI.0.442-03.1.9</i>	Арк.
						68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		



Рис. 3.24 – Готові моделі

### 3.1.5 Мобільні додатки для створення 3D моделей методом фотограмметрії

*Polycam* доступний на *iOS*, *Android* та веб. Вони працюють майже однаково, але з невеликими відмінностями.

Мобільна версія не дозволяє завантажити вже зроблений набір фото, тільки зробити нові в режимі реального часу. Є декілька варіантів налаштувань деталізації, які можна обрати в налаштуваннях *Optimized*, *Medium*, *Full*, *RAW*. Процес обробки триває недовго, використовуючи мобільний додаток процес тривав не більше 10 хвилин, після цього можна отримати модель і побачити недоліки. *Polycam* дозволяє зробити ще додаткові зображення після того, як користувач бачить де не вистачає інформації.

Вебверсія *Polycam* може робити 3D-знімки з наявних фотографій, які ви можете завантажити від 20 до 150 фото у форматі *PNG*, *JPG*. Також можна завантажити відео від 15 секунд до 3 хвилин у форматах *MP4*, *MOV*, *AVI*, *M4V*, обрати такі ж налаштування як і у додатку, процес триває трохи довше, але не набагато.

Додаток дозволяє експортувати модель у таких форматах як *obj*, *glTF*, *fbx*, *dae*, *stl*, *usdz*. Якщо користувач не знає, який саме формат йому потрібен для його конкретного використання, *Polycam* може надати підказки або рекомендації щодо вибору форматів файлів. Загалом для тестової моделі зробленої за

					<b>KPM.KI.0.442-03.1.9</b>	Арк.
						69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		





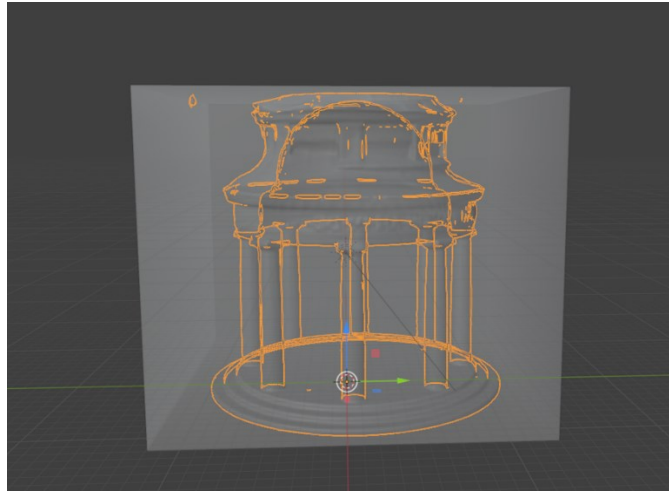


Рис. 3.27 – Застосування модифікатору Boolean

Після цього наша модель має майже 163 тисячі полігонів. На даному етапі, якщо ми зайдемо в *UV Editing* ми побачимо, що текстури розкидані хаотично (рис. 3.28). Будемо створювати нову обгортку для подальшої роботи. Одразу створимо новий матеріал для альтанки. Оскільки альтанка має складну форму *Smart UV Project* не підійде у цьому випадку.

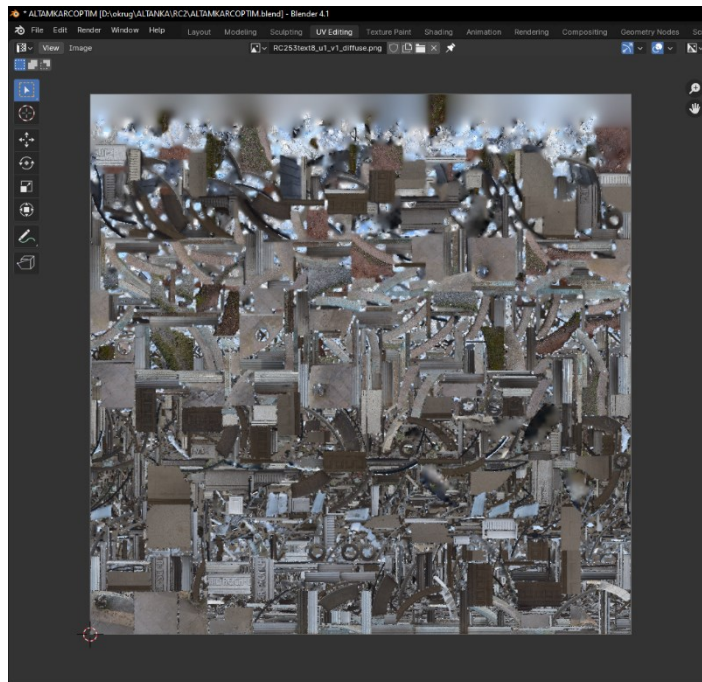


Рис. 3.28 – Текстури

Переходимо в режим *Edit Mode* і виділяємо ребра у моделі. Після цього затиснувши праву кнопку миші обираємо *Mark Seam*. Так розставляємо шви по

					<i>KPM.KI.0.442-03.1.9</i>	Арк.
						72
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

всій моделі. Після цього в режимі *Edit Mode* обираємо вкладку *UV* і натискаємо *Unwrap*. Після цього буде створено нову розгортку (рис. 3.29).

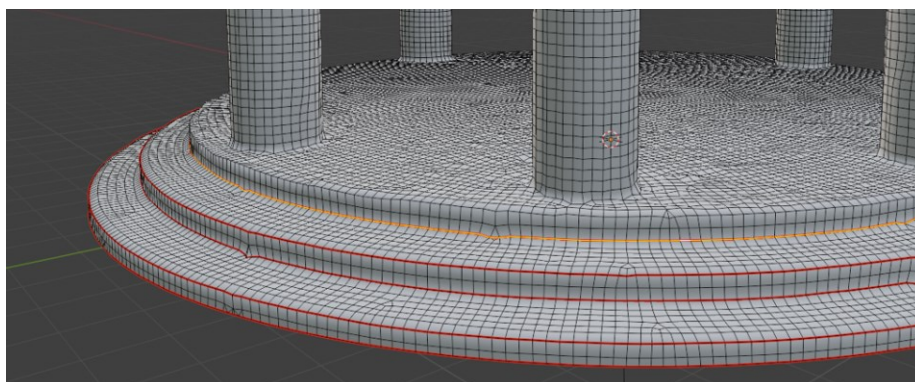


Рис. 3.29 – Розстановка швів *Mark Seam*

Наступним кроком переходимо в *Shading* і до створеного раніше матеріалу додамо *Image Texture*, задамо нову назву і розмір, під'єднуємо *Color* до *Base Color*. Цю карту ми будемо запікати, як дифузну. Дублюємо змінюємо назву, але при цьому залишаємо такий же розмір, обов'язково встановлюємо *Color Space* > *Non-Color*. Додамо *Normal Map* і з'єднаємо з *Image Texture* та *Normal* (рис. 3.30). Після цього версія *low poly* має стати чорною.

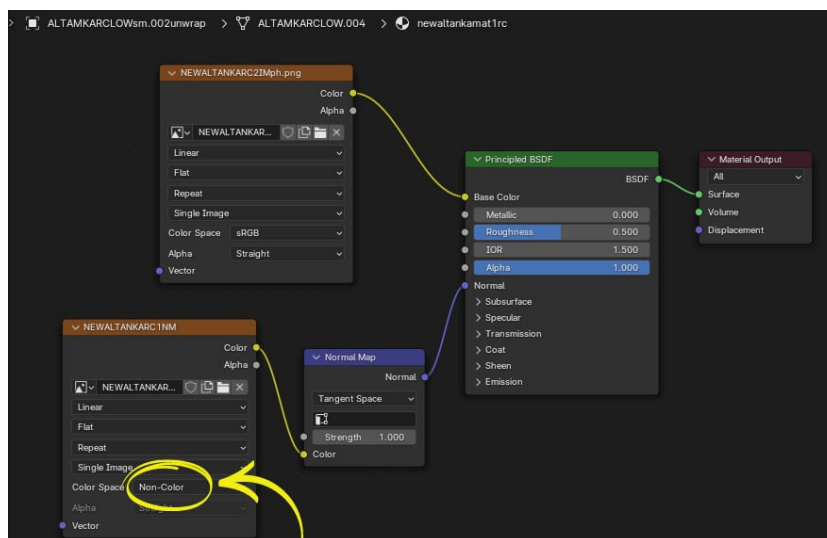


Рис. 3.30 – Налаштування для карти нормалей

Активуємо видимість *high poly* моделі і перевіряємо, щоб окрім моделі нічого не було виділеним. Тільки після цього виділяємо *low poly* версію, виділяємо дифузну карту і в  *Bake* встановлюємо *Diffuse* і натискаємо кнопку

*Bake*. Слід врахувати, що обидві версії моделі мають бути однаково розташовані. Приклад нижче на рисунку 3.31.

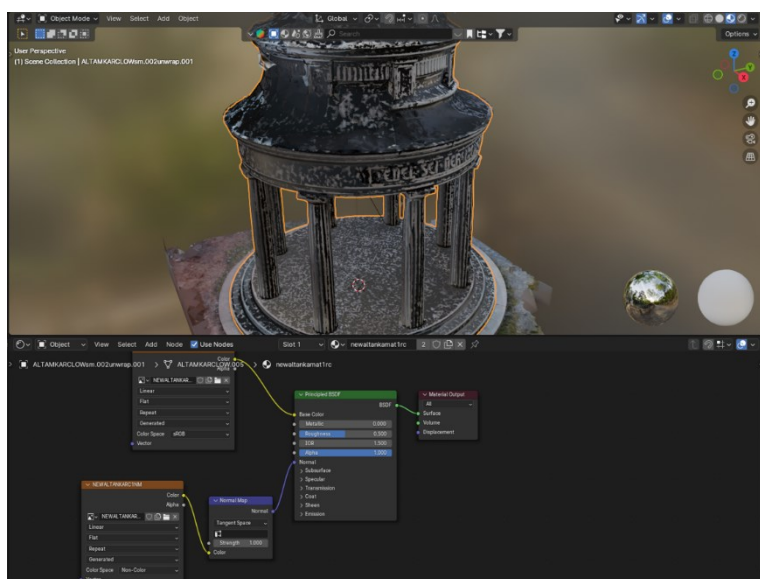


Рис. 3.31 – Етап запікання текстур

Те саме робимо для карти нормалей. В *Bake* встановлюємо *Normal* і натискаємо кнопку *Bake*.

### 3.2.2 Оптимізація пам'ятника

Імпортуємо те, що вдалося відтворити з фото в *Blender*. Для подальшої роботи створюємо папки *ORIG*, *HIGH*, *LOW*.

Модель створену *Reality Capture* розміщуємо в папці *ORIG*. Переходимо в режим *Edit Mode* виділяємо повністю меш пам'ятника, для цього наводимо курсор і натискаємо *L*, інвертуємо виділену область, тоді у нас видалиться все що відокремлене від мешу. Оригінальна модель має 500 тисяч полігонів (рис. 3.32).

					KPM.KI.0.442-03.1.9	Арк.
						74
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		



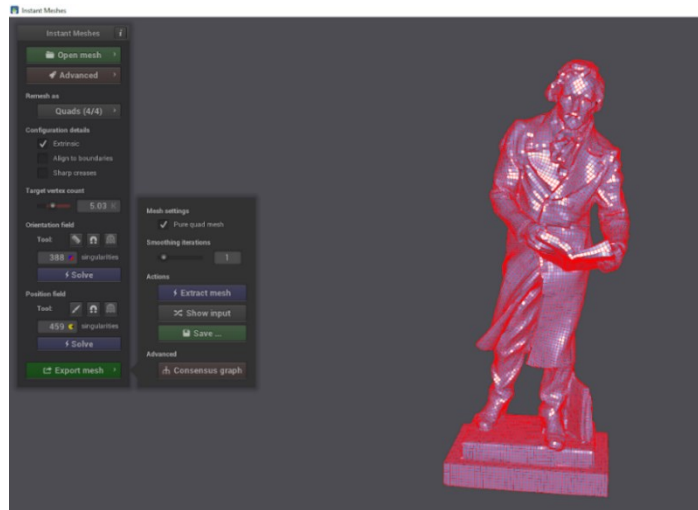


Рис. 3.34 – Ремеш в *Instant Meshes*

Імпортуємо спрощену модель в *Blender* і застосовуємо до неї *Shade Smooth*. Переходимо в *UV Editing* виділяємо модель і натискаємо *UV* і у цьому випадку ми можемо використати *Smart UV Project* встановивши кут 70 градусів (рис. 3.35).

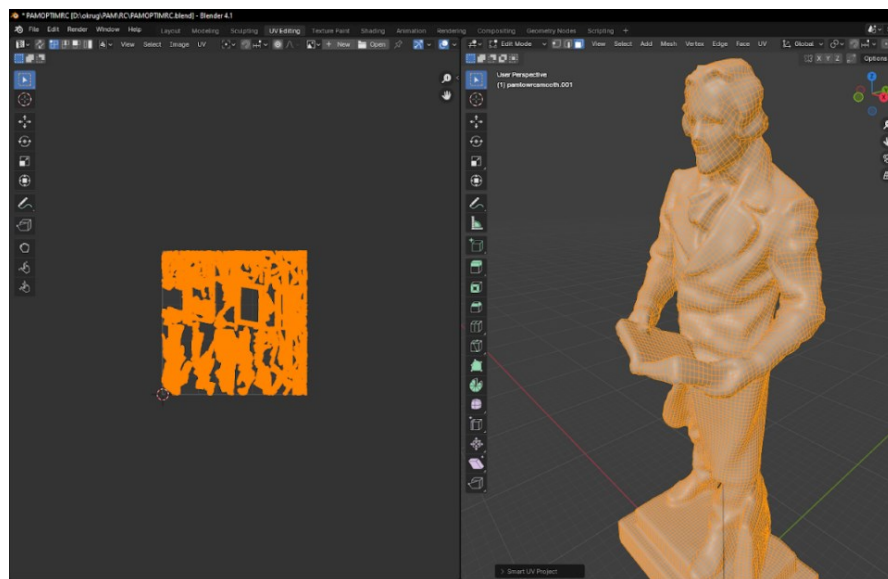


Рис. 3.35 – Застосування *Smart UV Project*

Переходимо в *Shading* і до створеного раніше матеріалу додамо *Image Texture*, задамо нову назву і розмір, під'єднуємо вихід *Color* до входу *Base Color*. Цю карту ми будемо запікати, як дифузну. Дублюємо змінюємо назву, але при цьому залишаємо такий же розмір, обов'язково встановлюємо *Color Space > Non-*

					<i>KPM.KI.0.442-03.1.9</i>	Арк.
						76
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

*Color*. Додамо *Normal Map* і з'єднаємо з *Image Texture* та *Normal*. Після цього версія *low poly* має стати чорною (рис. 3.36).

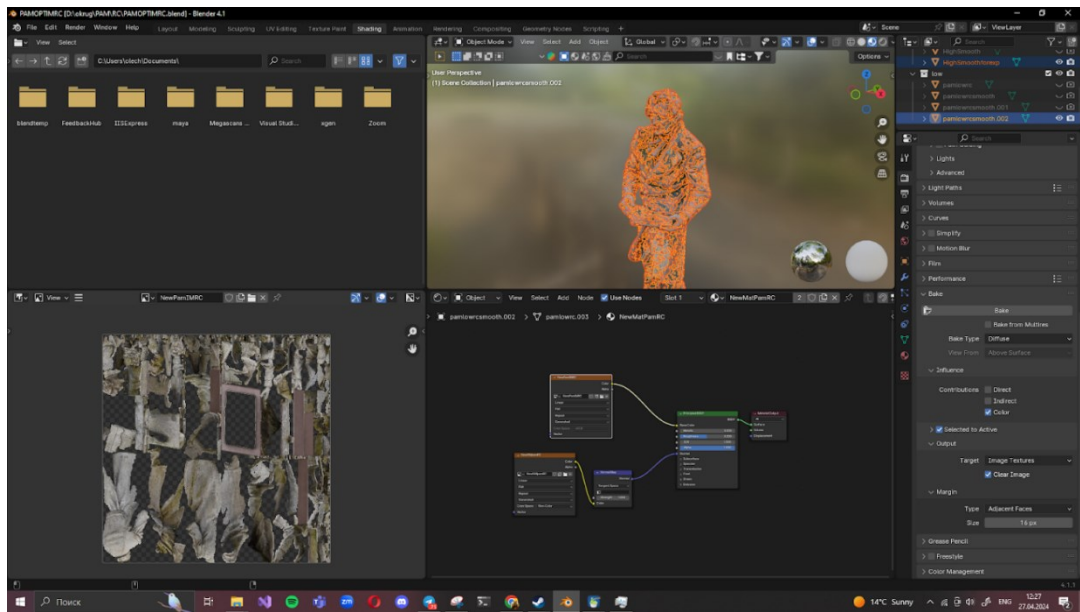


Рис. 3.36 – Запикання текстур

Те саме робимо для карти нормалей. В *Bake* встановлюємо *Normal* і натискаємо кнопку *Bake*.

### 3.2.3 Оптимізація дерева

Також імпортуємо те, що вдалося відтворити з фото в *Blender*. Для подальшої роботи створюємо папки *ORIG*, *HIGH*, *LOW*.

Модель створену *Reality Capture* розміщуємо в папці *ORIG*. Створюємо дублікат і застосовуємо до нього *Shade Smooth*. У цьому випадку ми не будемо використовувати *Boolean*, а просто виділимо зайві фрагменти у режимі *Edit Mode* і видалимо їх обравши *Faces*. Дублікат експортуємо в форматі *obj* для подальшої роботи в *Instant Meshes*. На рисунку 3.37 вид початкової моделі.

					KPM.KI.0.442-03.1.9	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		77

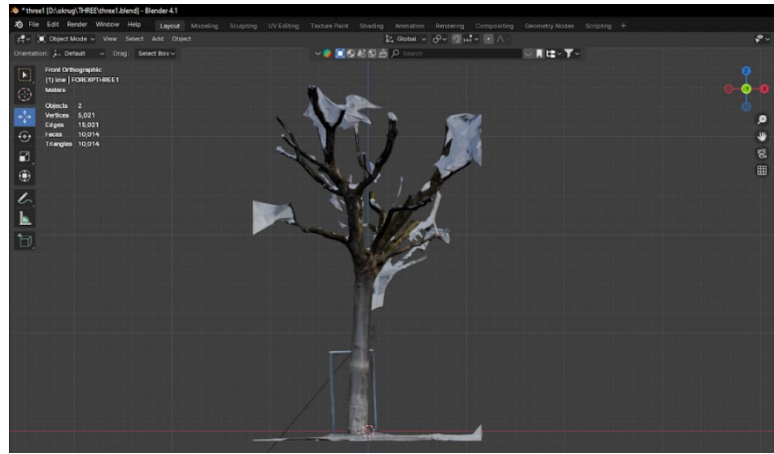


Рис. 3.37 – Імпортована high poly модель

Відкриваємо програму *Instant Meshes* та імпортуємо модель. Обираємо модель, яку ми попередньо експортували в форматі *obj*. Після того, як ми закінчимо внесення змін, зберігаємо модель у форматі, який підходить для проєкту. Імпортована модель не матиме текстури. Після ретопології (рис. 3.38) необхідно запекти нову текстуру.

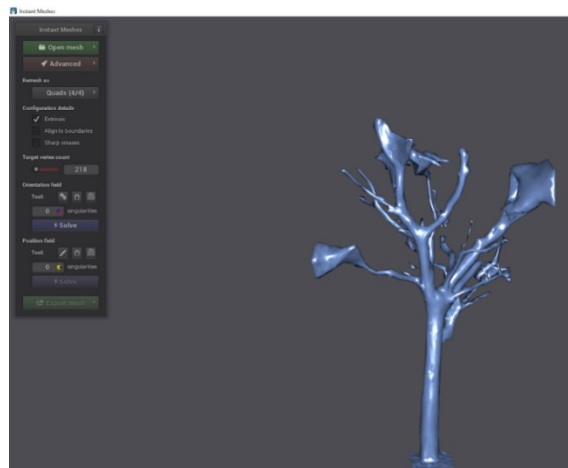


Рис. 3.38 – Ремеш в *Instant Meshes*

Імпортуємо *low* версію в папку *LOW* і застосовуємо до неї *Shade Smooth*. Після зміни сітки, можемо побачити, що деякі гілки спотворені. Переходимо в режим *Edit Mode* виділяємо повністю меш дерева, для цього наводимо курсор і натискаємо *L*, інвертуємо виділену область, тоді у нас видалиться все що відокремлене від мешу (рис. 3.39).

					KPM.KI.0.442-03.1.9	Арк.
						78
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		



зробити деякі частини випуклими застосовуємо *Inflate*. Для того щоб подовжити гілки використаємо інструменти *Snake Hook*, *Grab*, *Elastic Deform*.

Після скульптингу переходимо в режим *UV Editing*, і виділяємо повністю модель. Натискаємо *UV* і у цьому випадку ми можемо використати *Smart UV Project* встановивши кут 70 градусів.

### 3.3 Доопрацювання моделей

У цьому розділі буде описано, як доопрацювати оптимізовані моделі альтанки та дерева використовуючи різні інструменти як *Photoshop*, *Blender Kit*.

#### 3.3.1 Доопрацювання альтанки

Спочатку ми зробимо частину, даху альтанки з єдиного фрагменту, який вдалося відтворити *Reality Capture*. Створюємо дублікат *low* версії і в режимі *Edit Mode*, наводимо курсор на відтворений фрагмент і натискаємо клавішу *L* (його буде виділено оскільки раніше ми встановили там шви, що спрощує цей процес). Після цього виділяється частина даху (рис. 3.41), інвертуємо виділення і видаляємо зайве.

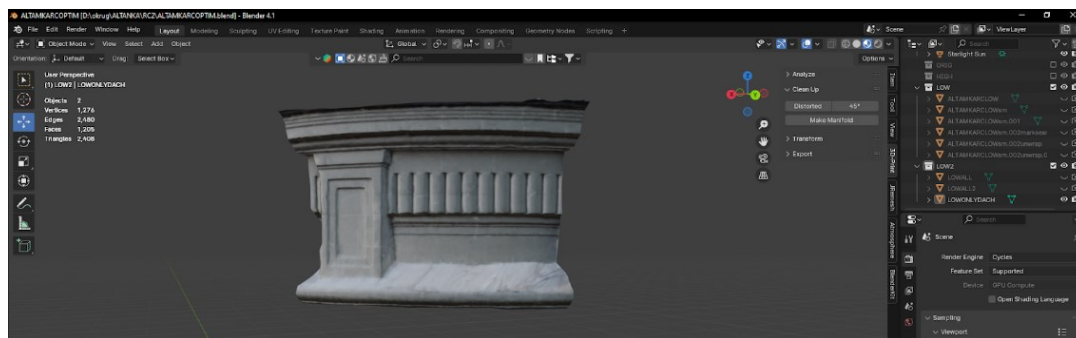


Рис. 3.41 – Окремо вирізаний фрагмент даху

Частина відтворена вдало, але має розміту частину текстури. Для того, щоб це виправити зберігаємо дифузну карту в форматі *png*. Відкриваємо *Adobe Photoshop* і відкриваємо збережену карту. Виділяємо розміту частину інструментом магнітне ласо. У новій версії фотошопу додали функцію Генеративна заливка, де за допомогою вбудованого ШІ можна внести зміни просто прописавши промт (рис. 3.42).

					KPM.KI.0.442-03.1.9	Арк.
						80
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

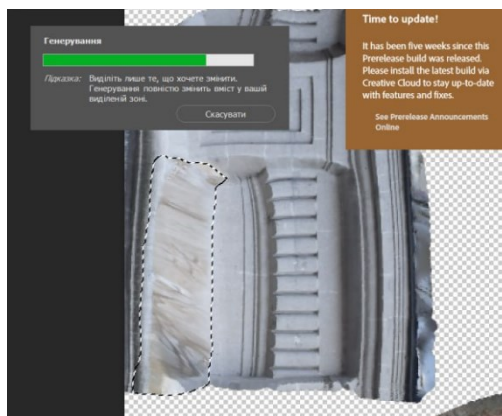


Рис. 3.42 – Використання Генеративної заливки

Після цього, буде запропоновано 3 варіанти серед яких можна обрати або згенерувати ще варіанти. Після внесення змін змінюємо назву та експортуємо в форматі *png*. Далі знов повертаємося до роботи в *Blender*. На рисунку 3.43 зображені відредаговані текстури.

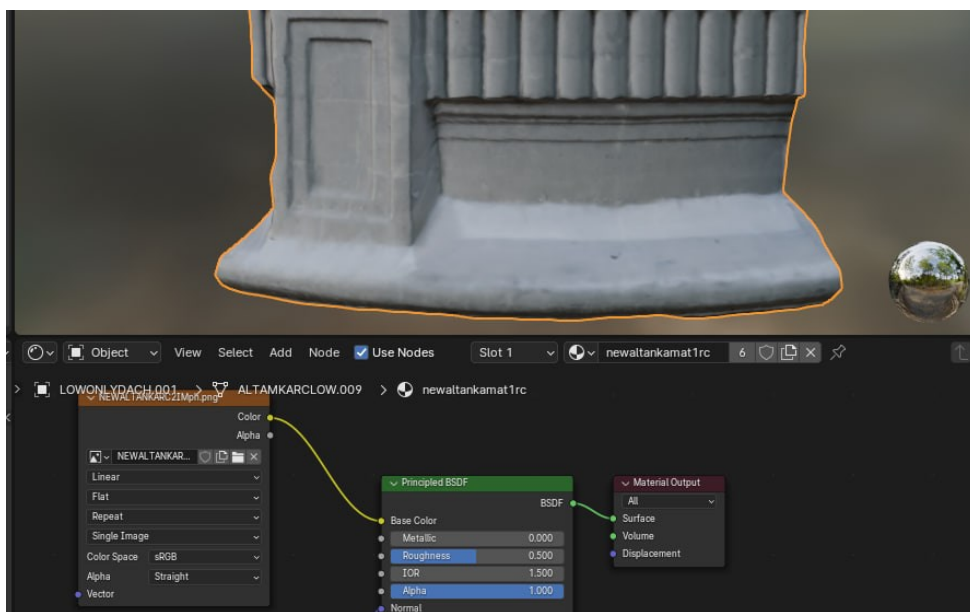


Рис. 3.43 – Результат редагування текстур

Додаємо на сцену *Add > Empty* повертаємося до вирізаного фрагмента і додаємо модифікатор *Array*, встановлюємо необхідне значення повтору (в цьому випадку встановлюється 8) і деактивуємо *Relative Offset* замість нього активуємо *Object Offset*. В *Object Offset* вказуємо *Empty*, як *Object*. Після цього обираємо на сцені саме *Empty*, а не фрагмент даху. Після цього змінюємо кут нахилу та





Другий спосіб простіше, дублюємо шар з текстурами і змінюємо режим накладання на Виключення. У цьому випадку кора платану має особливості, що зміни текстури будуть непомітні.

Далі знаходимо в інтернеті безкоштовне зображення гілки з листям у форматі *png*, зберігаємо. Імпортуємо його, як *Image as Plane*. В режимі *Shading* додаємо такі вузли, як *Color Ramp*, *Mix Shader*, *Transparent BSDF*. З'єднуємо ці вузли змінюємо значення щоб змінити прозорість. Встановлюємо новий *Set Origin to 3D Cursor*, трошки деформуємо форму гілки (рис. 3.47).

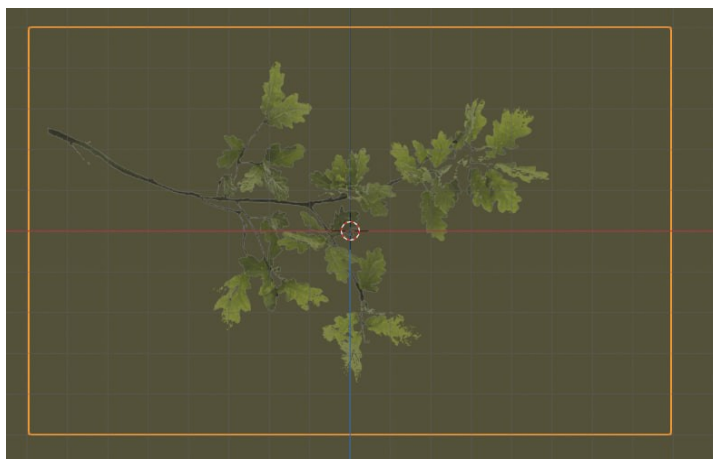
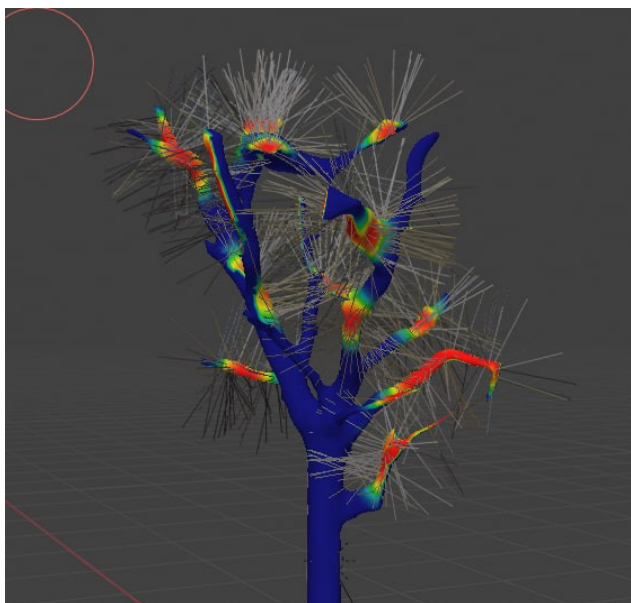


Рис. 3.47 – Зміна прозорості

Далі повертаємося до мешу дерева. Виділяємо його відкриваємо режим *Weight Paint*, у цьому режимі виділяємо крону, де будемо розставляти наші гілки. Далі до дерева додаємо систему частинок і змінюємо на *Hair* (рис. 3.48).



					KPM.KI.0.442-03.1.9	Арк.
						84
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

*Vertex Group* встановлюємо *Group. Render as > Object* і обираємо нашу гілку, як *Object*. Далі змінюємо кількість повторень, розмір, кут нахилу, тіні в залежності від потреби.

### 3.4 Створення відеороліку

#### 3.4.1 Композитінг

На підставі проєкту формується сцена. Готові об'єкти розміщуються на заплановані позиції (рис. 3.49).

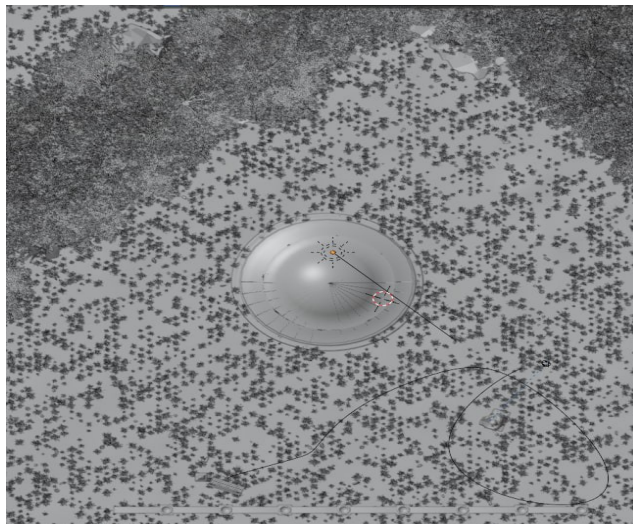


Рис. 3.49 – Додаткові моделі для облаштування сцени

Для наповнення сцени створюються додаткові об'єкти, які беруться з бібліотеки матеріалів/моделей/*hdr* карт *Blender Kit* [35]. Серед моделей, які ми будемо використовувати знаходимо рослини, дерева та деякі елементи для створення схожої на реальну локацію (рис. 3.50).

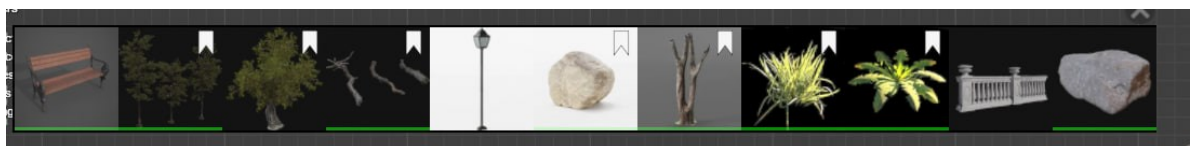


Рис. 3.50 – Додаткові моделі для облаштування сцени

Для розміщення цих моделей на площині ми будемо використовувати *Particle System Hair*. Деякі об'єкти не мають бути розміщені по всій сцені, тому

					КРМ.КІ.0.442-03.1.9	Арк.
						85
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

ми використовуємо режим *Weight Paint* для виділення місць, де потрібно встановити дерева (рис. 3.51), стовбури і пеньки.



Рис. 3.51 – Наповнена сцена

Елементи, що використовуються для наповнення площини, включають траву, шишки, кульбабки та каміння. Цей процес дозволяє створити реалістичний ландшафт, що надає сцені природний вигляд та атмосферу.

### 3.4.2 Освітлення та камера

Для освітлення сцени ми використовуємо *HDR* карту з *Poly Haven*, яка імітує навколишнє середовище і забезпечує природне освітлення. Використання цієї *HDR* карти дозволяє нам уникнути необхідності додавання на сцену додаткових дерев чи рослин.

Крім того, для додаткового контролю над освітленням ми встановлюємо аддон *Physical Atmosphere*. Цей аддон надає можливість змінити кут нахилу світла, що дозволяє досягти більш реалістичного ефекту освітлення сцени. Змінюючи кут нахилу, ми можемо підібрати оптимальний ракурс світла для досягнення бажаного настрою та ефекту в сцені.

Для камери ми встановлюємо тип «*Perspective*» та фокусну відстань 35 мм. Це дозволяє нам налаштувати камеру таким чином, щоб отримати перспективний ефект, схожий на вид з фотооб'єктива з фокусною відстанню 35 мм.

					KPM.KI.0.442-03.1.9	Арк.
						86
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Відстань 35 мм надає більший кут огляду, що дозволяє знімати широкі пейзажі, архітектурні споруди та інші об'єкти. Також фокусна відстань 35 мм забезпечує перспективу, яка сприймається як більш природна та реалістична для людського ока. Об'єкти у кадрі виглядають приблизно так, як ми бачимо їх в реальному житті.

### 3.4.3 Анімація камери

Перед початком анімації, ми встановлюємо камеру в початкове положення, встановивши значення *Location* та *Rotation* всіх осей в 0.

Для анімації обертання камери навколо альтанки, ми використовуємо *Bezier Circle*. Це дозволяє створити криву, по якій буде переміщуватись камера. Важливо встановити роздільну здатність (*Resolution Preview U*) об'єкта *Bezier Circle* на 32, щоб забезпечити плавність анімації. Потім ми пов'язуємо камеру з цією кривою, використовуючи обмеження об'єкта. Встановлюємо «*Follow Path*», щоб камера слідувала за кривою, та «*Track To*», щоб камера завжди спрямовувалась на альтанку. Після цього ми активуємо анімацію шляху (*Follow Path*), а також встановлюємо кількість кадрів, на яку має тривати анімація цього шляху.

Щодо анімації демонстрації пам'ятника, ми діємо аналогічним чином, але використовуємо просту криву замість *Bezier Circle*.

### 3.4.4 Візуалізація

Візуалізація сцени є важливим етапом при роботі зі створенням анімацій. Цей процес передбачає обробку та рендеринг сцени, щоб представити її глядачам.

Для візуалізації необхідно враховувати такі параметри, як розмір кадру, діапазон кадрів, частота кадрів та інші аспекти. Виконує процес візуалізації комп'ютер, який робить розрахунки сцени і створює фінальні рендери або анімації для представлення.

					KPM.KI.0.442-03.1.9	Арк.
						87
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

На час рендерингу впливають не тільки характеристики потужності ПК, також тривалість процесу візуалізації залежить від геометрії сцени, кольорів, тіней, та інші характеристик. Комп'ютер виконує всі розрахунки сцени, створюючи фінальне зображення або анімацію.

Для візуалізації використовується *Blender* з наступними налаштуваннями:

1. Для рендерингу нашої анімації використовуємо двигун *Cycles GPU Compute* зі стандартними налаштуваннями.

2. Роздільна здатність 1920x1080 пікселів, що відповідає стандарту *Full HD*.

3. Частота кадрів 24 *fps*.

4. Вивід анімацій відбувається безпосередньо у форматі *FFmpeg Video* з використанням кодеку *H.264 MPEG4*.

5. Фокусна відстань камери 35 мм.

6. Для представлення фінального результату створимо 3 анімації, які потім об'єднаємо. Кількість кадрів для першої анімації – 500 кадрів, для другої – 360, для третьої теж 360 кадрів. Всі результати зберігаються в одну папку.

Статистика:

- загальна кількість кадрів 1220;
- частота кадрів 24 *fps*;
- тривалість анімації 51 секунда;
- тривалість фінальної анімації 1 хвилина 11 секунд;
- Процесор *Intel(R) Core(TM) i5-9400*;
- *RAM* 32 ГБ;
- відеокарта *NVIDIA GeForce GTX 1650/PCIe/SSE2*;
- загальний час для візуалізації першої анімації – 33 години 30 хвилин;
- середній час для візуалізації кадру першої анімації – приблизно 4 хвилини на кадр;
- загальний час для візуалізації другої анімації – 28 годин 17 хвилин;
- середній час для візуалізації кадру другої анімації – приблизно 4 хвилини 23 секунди на кадр;

					<i>KPM.KI.0.442-03.1.9</i>	Арк.
						88
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

- загальний час для візуалізації третьої анімації – 11 годин 17 хвилин;
- середній час для візуалізації кадру третьої анімації – приблизно 2 хвилини на кадр;

Загалом рендер анімації тривав 73 години 4 хвилини.

### **Висновки до третього розділу**

1. Досліджено різні програмні засоби для фотограмметрії, описані переваги і недоліки при роботі з ними. Розглянуто варіанти створення фотограмметричних моделей за допомогою мобільних застосунків.

2. Описано процес оптимізації моделей з використанням ретопології, створенням *UV* розгортки і подальшим запіканням текстур.

3. Було розглянуто процес доопрацювання моделей альтанки і дерева, через недостатню кількість даних і складність відтворення цих об'єктів.

4. Також описано процес створення анімації з демонстрацією створених об'єктів.

					<i>KPM.KI.0.442-03.1.9</i>	Арк.
						89
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

## РОЗДІЛ 4 ЕКОНОМІЧНІ РОЗРАХУНКИ

### 4.1 Організаційно-економічне обґрунтування проєкту

Метою роботи є відтворення декількох реальних об'єктів різних розмірів у 3D методом фотограмметрії за допомогою різного програмного забезпечення.

Результат – анімація з використанням відтворених та оптимізованих 3D-моделей реальних об'єктів.

В цій частині розглядається можливість комерційного використання створених в рамках роботи моделей та економічна доцільність. Класифікаційна оцінка проєкту наведена нижче у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1

Класифікаційна оцінка проєкту

клас	монопроєкт
тип	змішаний
вид	комбінований
тривалість	короткостроковий
за ступенем складності	проєкт високої складності
рівень	галузевий

Етапи виконання розділів кваліфікаційної роботи:

1. Постановка технічного завдання. В цьому розділі представлені: аналіз та порівняння програмного забезпечення для фотограмметрії; формування вимог до відтворення об'єктів; постановка задачі.

Термін виконання – 1 місяць.

2. Розробка робочого проєкту. Відтворення об'єктів і складання алгоритму для подальшої оптимізації моделей, шляхом складання алгоритму. На стадії

					<b>KPM.KI.0.442-03.1.9</b>	Арк.
						90
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

робочого проєкту створюється вся необхідна документація об'єкта (специфікації, пояснювальна записка, інструкції та ін.).

Термін виконання – 7 днів.

3. Техніко-економічна частина. Проведення розрахунків собівартості та обґрунтування економічної доцільності впровадження даного продукту.

Термін виконання – 14 днів.

У кваліфікаційній роботі представлений наступний склад робіт:

1. Постановка технічного завдання – 10-12 днів.
2. Розробка алгоритму програмного продукту – 27-29 днів.
3. Розробка робочого проєкту – 30-35 днів.
4. Впровадження проєкту – 10-14 днів.

За структуру розроблювального проєкту прийнята структура, орієнтована на результати проєкту. Така структура заснована на побудові мережного графіка (табл. 4.2).

Таблиця 4.2

Склад робіт по життєвому циклу проєкту

№ код роботи	Назва роботи	T, дні
1-2	Аналіз предметної області	10
2-3	Встановлення потреби в результатах	5
3-4	Вибір апаратних та програмних забезпечень	10
4-5	Створення наборів знімків	9
5-6	Створення моделей за допомогою фотограмметричного ПЗ	10
6-7	Аналіз роботи з ПЗ	10
5-7	Оптимізація моделей	5
7-8	Відтворення текстур	2
8-9	Доопрацювання моделей	3
9-10	Анімація	7
10-11	Перевірка стану роботи	11

					<i>KPM.KI.0.442-03.1.9</i>	Арк.
						91
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

№ код роботи	Назва роботи	T, дні
11-12	Доробка анімації	3
12-13	Доробка пояснювальної записки	5
13-14	Презентація проєкту	2
14-15	Оцінка результатів проєкту	2

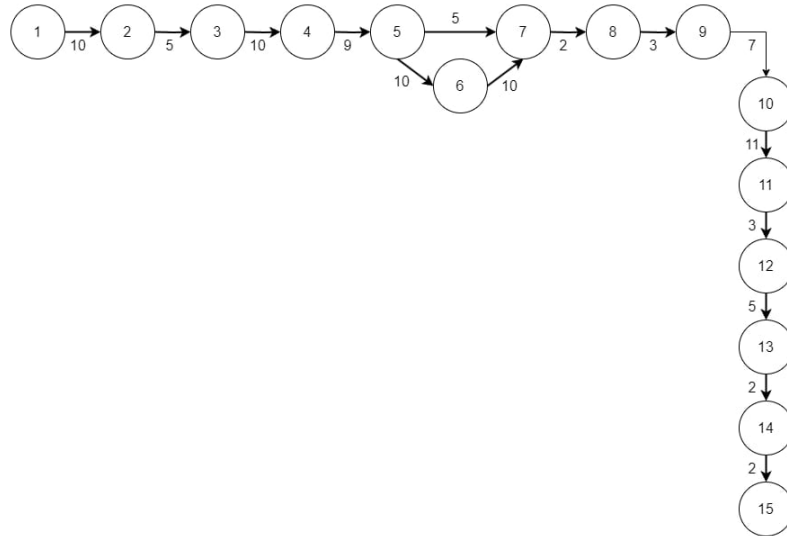


Рис. 4.1 – Мережевий графік проєкту

Використовуючи цю модель можна провести розрахунки параметрів мережевого графіку (табл. 4.3).

Таблиця 4.3

## Розрахунок параметрів мережевого графіку

Подія $i/j$		Ранній термін здійснення події	Тривалість роботи	Ранній термін здійснення події $j$	Пізній період здійснення події $i$	Тривалість роботи	Пізній період здійснення події $j$	Резерв
$i$	$j$	$Tr[i]$	$T[i,j]$	$Tr[j]$	$Tp[i]$	$T[i,j]$	$Tp[j]$	$R[j]$
1	2	0	10	10	0	10	10	0
2	3	10	5	15	10	5	15	0

3	4	15	10	25	15	10	25	0
---	---	----	----	----	----	----	----	---

Продовження таблиці 4.3

Подія <i>ij</i>	Ранній термін	Тривалість роботи	Ранній термін здійснення	Пізній період здійснення	події <i>i</i>	Тривалість роботи	Пізній період здійснення	Резерв	Подія <i>ij</i>
4	5	25	9	34	25	9	34	0	
5	6	34	10	44	34	10	44	0	
6	7	44	10	54	44	10	54	0	
5	7	34	5	39	34	5	39	0	
7	8	39	2	41	39	2	41	0	
8	9	41	3	44	41	3	44	0	
9	10	44	7	51	44	7	51	0	
10	11	51	11	62	51	11	62	0	
11	12	62	3	65	62	3	65	0	
12	13	65	5	70	65	5	70	0	
13	14	70	2	72	70	2	72	0	
14	15	72	2	74	72	2	74	0	

В результаті розрахунку параметрів встановлення, що тривалість проєкту складає 74 дні. Оптимізувати проєкт не має сенсу, так як його тривалість є невеликою.

#### 4.2 Маркетингове обґрунтування проєкту

При роботі над цим проєктом, було проаналізовано роботу з різним софтом для створення фотограмметричних моделей. Проаналізовано різні етапи відтворення, проведено аналіз та обґрунтування засобів для реалізації. Після відтворення об'єктів у 3D середовищі, їх було оптимізовано. Були проаналізовані різні варіанти оптимізації. Було визначено, що є готовим продуктом є анімація з

									Арк.
									93
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат	KPM.KI.0.442-03.1.9				

використанням створених і доопрацьованих моделей, з використанням ефектів створеними в *After Effects*.

Можливі області використання даного проєкту: Проєкт можна використовувати для створення детальних розробки реалістичних анімацій та візуальних ефектів у кіноіндустрії та відеоіграх, створення інтерактивних 3D-середовищ у віртуальній та доповненій реальності, а також для виробництва візуально привабливих рекламних матеріалів у рекламі.

Коло потенційних споживачів: кіновиробничі студії та розробники відеоігор, компанії, що працюють з віртуальною та доповненою реальністю, рекламні агентства та маркетингові компанії, компанії-виробники, які потребують візуалізації їхнього продукту для подальшого використання у рекламі.

Конкурентні переваги даного проєкту: універсальність, що дозволяє застосовувати проєкт у різних галузях, можливість швидко створювати продукт, невисока вартість створення продукту.

Ринок фотограмметрії в Україні та ЄС має суттєві відмінності, зокрема й у ціноутворенні. Обидва регіони пропонують якісні послуги з фотограмметрії, проте мають різні цінові категорії, технологічний рівень та спеціалізацію. Загалом ціни на послуги фотограмметрії формуються в залежності від складності проєкту.

Фактори, що впливають на ціну:

Складність проєкту: Ціна на послуги фотограмметрії буде залежати від складності проєкту. Створення 3D-моделі простого об'єкта буде коштувати дешевше, ніж створення 3D-моделі складного об'єкта з безліччю деталей.

Обсяг роботи: Ціна також буде залежати від обсягу роботи, який потрібно виконати. Фотограмметрія, яку можна реалізувати за годину буде коштувати дешевше, ніж фотограмметрія, наприклад, будівлі, для реалізації якої потрібно виконати більший обсяг роботи.

Досвід та кваліфікація персоналу: Спеціалісти з більшим досвідом та кваліфікацією зазвичай беруть більше за свої послуги.

					<b>KPM.KI.0.442-03.1.9</b>	Арк.
						94
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Платформа: Ціни на послуги фотограмметрії можуть трохи відрізнятись на різних платформах (табл. 4.4).

Таблиця 4.4

Порівняння цін на послуги фотограмметрії

Платформа	Україна	ЄС
<i>Fiverr</i>	15-70 євро	25-150 євро
<i>Upwork</i>	25-70 євро	50-150 євро
<i>Guru</i>	25-100 євро	45-200 євро

Ринки фотограмметрії в Україні та ЄС суттєво відрізняються. Обидва регіони пропонують сході послуги, які відрізняються цінами, технологічним рівнем та спеціалізацією.

### 4.3 Розрахунки економічної ефективності впровадження нового програмного продукту

Визначення трудомісткості розробки ПП. Розроблювальному ПП відповідає аналог – ПЗ загальної математики й ПЗ імітаційного моделювання з  $V_0 = 8800$  умовних машинних команд із трудомісткістю  $T_P^H = 385$  люд/год.

Трудомісткість розроблювального ПП визначається на кожному етапі окремо на підставі трудомісткості аналога з урахуванням складності розробки, ступеня новизни й ступеня використання в розробці стандартних модулів на підставі формул 4.1 – 4.4.

$$T_{ТЗ} = T_P * L_1 * K_H \quad (4.1)$$

$$T_{ТП} = T_P * L_2 * K_H \quad (4.2)$$

$$T_{РП} = T_P * L_3 * K_H * K_T \quad (4.3)$$

$$T_{ВН} = T_P * L_4 * K_H \quad (4.4)$$

де:

$T_P$  – укрупнена норма часу на розробку аналога ПС, люд/год, що

коректується поправочним коефіцієнтом, що враховує умови розробки ПС, тобто в умовах комп'ютера,  $K_k = (0,7/0,8)$ .

Тоді:  $T_P = 385 * 0,8 = 308$  люд/год

Даний проєкт можна віднести до ступеня новизни В.

$L_j$  – питома вага  $j$ -го етапу розробки (залежно від ступеня новизни й відповідних стадій):  $L_1 = 0,12$ ;  $L_2 = 0,11$ ;  $L_3 = 0,61$ ;  $L_4 = 0,16$ .

$K_H$  – поправочний коефіцієнт, що враховує ступінь новизни, у цьому випадку  $K_H = 0,7$ ;

$K_T$  – поправочний коефіцієнт, що враховує ступінь використання в розробці типових програм  $K_T = 0,8$ .

Тоді:

$T_{T3} = 308 * 0,12 * 0,7 = 26$ (дні)

$T_{TII} = 308 * 0,11 * 0,7 = 24$ (дні)

$T_{PII} = 308 * 0,61 * 0,7 * 0,8 = 105$  (дні)

$T_{BH} = 308 * 0,16 * 0,7 = 34$  (дні)

Тривалість розробки ПП у роках визначається за формулою 4.5:

$$T_{ПП} = T_{T3} + T_{TII} + T_{PII} + T_{BH} \quad (4.5)$$

де:

$T_{ПП}$  – сумарна тривалість розробки.

Тоді:  $T_{ПП} = 26 + 24 + 105 + 34 = 189$ (дні) = 0,517(рік)

Розрахунок ціни розробки. Для визначення ціни необхідно розрахувати основну заробітну плату розроблювачів, матеріальні витрати, вартість машино-часа та інші витрати на розробку.

ПП розглядається й створюється як продукція виробничо-технічного призначення, що допускає багаторазове тиражування й відчуження від безпосередніх розроблювачів, значить:

					<i>KPM.KI.0.442-03.1.9</i>	Арк.
						96
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

$$\text{Ц} = \text{С} * \text{К} + \text{Пр} \quad (4.6)$$

де:

С – витрати на розробку програмної продукції (кошторисна собівартість);

К – коефіцієнт обліку витрат на виготовлення досвідченого зразка ПП як продукції виробничо-технічного призначення.

Пр – нормативний прибуток, що розраховується по формулі 4.7:

$$\text{Пр} = (\text{С} - \text{С}_\text{М}) * \text{Р}_\text{Н} / 100 \quad (4.7)$$

де:

Р<sub>Н</sub> – норматив рентабельності, (рекомендується 25 %);

С<sub>М</sub> – матеріальні витрати, грн

Матеріальні витрати. Витрати на матеріали визначаються по формулі 4.8:

$$\text{С}_\text{М} = \text{К}_\text{МР} * \sum \text{Ц}_i * V_i \quad (4.8)$$

де:

К<sub>МР</sub> – коефіцієнт транспортно-заготівельних видатків;

Ц<sub>і</sub> – ціна одиниці і-го матеріалу, грн;

V<sub>і</sub> – придбана кількість і-го матеріалу.

В таблиці 4.5 представлено витрати на матеріали.

Таблиця 4.5

Витрати на матеріали

Найменування товару	Кількість	Ціна за одиницю, грн	Сума, грн
<i>RealityCapture</i>	3	490	1470

					<i>KPM.KI.0.442-03.1.9</i>	Арк.
						97
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

<i>Adobe Creative Cloud (Photoshop, After Effects)</i>	1	955	955
Усього			2425
$K_{MP} = 0,1$			242,5
Разом			2667,5

Спеціальне устаткування. Витрати, пов'язані з використанням обчислювальної техніки, визначають по формулі 4.9:

$$C_{\text{еом}} = t^{\text{еом}} * K_{\text{и}}^{\text{еом}} * Ц^{\text{еом}} * K_{\text{бд}}^{\text{еом}} * K_{\text{е}}^{\text{еом}} \quad (4.9)$$

де:

$t_{\text{еом}}$  – час використання ЕОМ для розробки даного ПП, год;

$t_{\text{еом}} = 120$  год;

$K_{\text{и}}^{\text{еом}}$  – поправочний коефіцієнт обліку часу використання ЕОМ;

$K_{\text{и}}^{\text{еом}} = 1,08$ ;

$Ц^{\text{еом}}$  – ціна і-тієї години роботи ЕОМ, грн;

$Ц^{\text{еом}} = 15$  грн;

$K_{\text{бд}}^{\text{еом}}$  – коефіцієнт обліку ступеня використання СУБД (не використовується);

$K_{\text{е}}^{\text{еом}}$  – коефіцієнт обліку швидкодії ЕОМ (1,0 – швидкодія ЕОМ більше  $20 \times 10^{30}$  опер/с)

$K_{\text{е}}^{\text{еом}} = 1$ ;

Тоді:  $C_{\text{ЕОМ}} = 2667,5 * 1,08 * 10 = 28\,809$  грн

Основна заробітна плата: у статтю включається основна заробітна плата виконавця, безпосередньо зайнятого розробкою даного проєкту, з обліком його посадового окладу (6500 та 10000 грн відповідно) й часу участі в розробці. Розрахунок ведеться по формулі 4.10:

$$C_{\text{ЗО}} = Z_i * K_o * \tau_i / D_p \quad (4.10)$$

де:

					<i>KPM.KI.0.442-03.1.9</i>	Арк.
						98
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

$Z_i$  – середньомісячний оклад і-того виконавця, грн;

$D_p$  – середня кількість робочих днів у місяці (рекоменд.21-22);

$t_i$  – трудомісткість робіт, виконуємих і-тим виконавцем, люд/днів  
(визначається з календарного плану-графіка).

$K_o$  – коефіцієнт обліку окладу керівників і консультантів проекту  
(рекомендується 0,1)

Тоді:

$$C_{zo} = (6500 * 74) / 22 = 21\ 864 \text{ грн (розробка)}$$

$$C_{zo} = (10000 * 0,1 * 31) / 22 = 1\ 409 \text{ грн (розробка)}$$

$$C_{zo} = 21\ 864 + 1\ 409 = 23\ 273 \text{ грн (розробка)}$$

Додаткова заробітна плата. У статті враховуються всі виплати безпосереднім виконавцям за час непророблений на виробництві, у тому числі: оплата чергових відпусток, компенсації за невикористану відпустку, оплата пільгових годин підліткам та ін. Розрахунок ведеться по формулі 4.11:

$$C_{zd} = C_{zo} * K_d \quad (4.11)$$

де:

$K_d$  – коефіцієнт відрахувань на заробітну плату;

$$K_d = 0,1;$$

$$\text{Тоді: } C_{zd} = 23\ 273 * 0,1 = 2\ 327,3 \text{ грн (загальне)}$$

Відрахування на соціальне страхування. У статті враховуються відрахування в бюджет соціального страхування по встановленому законодавством тарифу від суми основної й додаткової заробітної плати. Розрахунок ведеться по формулі 4.12:

$$C_{cc} = K_{cc} * (C_{zo} + C_{zd}) \quad (4.12)$$

де:

					<i>KPM.KI.0.442-03.1.9</i>	Арк.
						99
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

$K_{CC}$  – коефіцієнт відрахувань на соціальне страхування (рекомендується 22%).

Тоді:  $C_{CC} = 0,22 * (23\ 273 + 2327,3) = 5632$  грн

Накладні витрати. У статті враховуються витрати на загальногосподарські витрати, поза виробничі (комерційні) витрати на збут й адміністративні витрати на керування. Накладні витрати визначають у відсотковому відношенні до основної заробітної плати. Розрахунок ведеться по формулі 4.13:

$$C_H = K_H * C_{30} \quad (4.13)$$

де:

$K_H$  – коефіцієнт накладних витрат (0,5).

Тоді:  $C_H = 0,5 * 23\ 273 = 11636,5$  грн

Результати розрахунку кошторисної вартості ПП можна звести в табл. 4.6.

Таблиця 4.6

Результати розрахунку вартості

Найменування статті	Значення собівартості, грн	Питома вага, %	Примітка
Матеріали	2667,5	4	–
Спеціальне устаткування	28 809	39	–
Основна заробітна плата	23 273	31	–
Додаткова заробітна плата	2327,3	3	–
Відрахування на соціальне страхування	5632	7	–
Накладні витрати	11636,5	16	–
Разом	74345,5	100	–

Таким чином:  $C = C_M + C_{EOM} + C_{ZO} + C_{ЗД} + C_{CC} + C_H = 74345,5$  грн

Нормативний прибуток:  $P_p = (74\ 345,5 - 2667,5) * 0,25 = 17\ 895$  грн

Ціна програмного продукту складе:  $C = 1,1 * 74345,5 + 17895 = 99675$  грн

Розрахунок капітальних витрат і експлуатаційних витрат, пов'язаних із впровадженням (удосконалюванням) ІС. Розрахунок ведеться по формулі 4.14:

$$K_2 = K_{П} + K_{КО} + K_{ВО} + K_C \quad (4.14)$$

де:

$K_{П}$  – довиробничі витрати;

$K_{П} = 99\ 675$  грн;

$K_{КО}$  – вартість комп'ютерного устаткування;

$K_{КО} = 32\ 000$  грн;

$K_{ВО}$  – вартість допоміжного устаткування, необхідного для надійної роботи ІС;

$K_{ВО} = 52\ 795$  грн;

$K_C$  – вартість будівництва (реконструкції) у зв'язку із впровадженням (удосконалюванням) ІС;

$K_C = 0$ ;

Тоді:  $K = 99675 + 32\ 000 + 52795 = 184\ 470$  грн

Розрахунок поточних (експлуатаційних) витрат, пов'язаних із впровадженням ІС (КМ), здійснюється по формулі 4.15:

$$C = C_{ОПЛ} + C_a + C_{ЕЛ} + C_p + C_{ВСП} + C_{П} \quad (4.15)$$

де:

$C_{ОПЛ}$  – річний фонд основної й додаткової оплати праці персоналу, що обслуговує ІС з нарахуваннями;

$C_a$  – сума річних амортизаційних відрахувань від вартості основного й допоміжного устаткування ІС;

					<i>KPM.KI.0.442-03.1.9</i>	Арк.
						101
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

$C_{\text{ЕЛ}}$  – вартість витрат на електроенергію в рік;

$C_{\text{Р}}$  – вартість річного ремонту основного й допоміжного устаткування (6%  $K_{\text{ко}}$ );

$C_{\text{Р}} = 1920$  грн;

$C_{\text{ВСП}}$  – річна вартість допоміжних матеріалів, пов'язаних з експлуатацією ІС (2%  $K_{\text{ко}}$ );

$C_{\text{ВСП}} = 640$  грн;

$C_{\text{П}}$  – вартість річного утримання приміщень.

$C_{\text{П}} = 1500$  грн

Річний фонд основної заробітної плати персоналу, що обслуговує ІС здійснюється по формулі 4.16:

$$Z_{\text{осн}} = \sum C_{ci} * Z_{ci} * \sum C_{pj} * t_{cj} \Phi_{pj} \quad (4.16)$$

де:

$C_{ci}$ ,  $C_{pj}$  – чисельність, відповідно, фахівців і-тєї категорії й j-того розряду, що обслуговують ІС;

$Z_{ci}$  – річний фонд заробітної плати фахівця і-ої категорії;

$t_{cj}$  – годинна тарифна ставка робітника j-того розряду;

$\Phi_{pj}$  – річний фонд робочого часу робітника j-того розряду.

Річний фонд заробітної плати персоналу.

До впровадження програмного продукту дана задача вирішувалася двома співробітниками з окладом по 6500 грн/міс:

$$Z_{\text{до}}^{\text{осн}} = (6500 * 2) * 12 = 156000 \text{ грн}$$

Чисельність співробітників скоротилася до одного з окладом 6500 грн:

$$Z_{\text{після}}^{\text{осн}} = (6500 * 2) * 12 = 156000 \text{ грн}$$

Фонд додаткової заробітної плати. Розрахунок ведеться по формулі 4.17:

$$Z_{\text{дод}} = Z_{\text{осн}} * K_{\text{дод}} \quad (4.17)$$

де:

$K_{\text{дод}}$  – коефіцієнт додаткової заробітної плати (визначається в розмірі

					<i>KPM.KI.0.442-03.1.9</i>	Арк.
						102
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

$$K_{\text{дод}} = 0,1-0,2)$$

$$Z_{\text{ДО}}^{\text{ОСН}} = 156000 * 0,1 = 15600 \text{ грн}$$

$$Z_{\text{ОСН}}^{\text{після}} = 78000 * 0,1 = 7800 \text{ грн}$$

Нарахування на заробітну плату. Розрахунок ведеться по формулі 4.18:

$$Z_{\text{Поч}} = (Z_{\text{ОСН}} + K_{\text{дод}}) * K_{\text{соц}} \quad (4.18)$$

де:

$K_{\text{соц}}$  – коефіцієнт відрахувань на соціальні потреби;

$$K_{\text{соц}} = 22\%(\text{рек})$$

$$Z_{\text{ЕСВ}}^{\text{ДО}} = (156000 + 15600) * 0,22 = 37752 \text{ грн}$$

$$Z_{\text{ЕСВ}}^{\text{після}} = 78(78000 + 7800) * 0,22 = 18876 \text{ грн}$$

Загальні витрати на оплату праці. Розрахунок ведеться по формулі 4.19:

$$C_{\text{опл}} = Z_{\text{ОСН}} + Z_{\text{дод}} + Z_{\text{Поч}} \quad (4.19)$$

$$C_{\text{ДО}}^{\text{опл}} = 156000 + 15600 + 37752 = 209352 \text{ грн}$$

$$C_{\text{опл}}^{\text{після}} = 78000 + 7800 + 18876 = 104676 \text{ грн}$$

Розрахунок амортизаційних відрахувань визначається по формулі 4.20:

$$Ca = K_{\text{ко}} * Na / 100 \quad (4.20)$$

де:

$a$  – норма амортизаційних відрахувань (для комп'ютерного встаткування  $Na = 60\%$ )

$$\text{Тоді: } Ca = 32000 * 0,6 / 100 = 192$$

Річна вартість споживаної електроенергії  $C_{\text{ЕЛ}}$ , визначається по формулі 4.21:

$$C_{\text{ЕЛ}} = M_{\text{у}} * T_{\text{ко}} * C_{\text{Е}} * K_{\text{І}} \quad (4.21)$$

де:

$M_{\text{у}}$  – установлена сумарна потужність комп'ютерного встаткування,

					<i>KPM.KI.0.442-03.1.9</i>	Арк.
						103
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

кВт;

$M_y = 0,6$  кВт;

$T_{КО}$  – річний фонд роботи ЕОМ з урахуванням часу на профілактичні огляди;

$T_{КО} = 6320$  год;

$Ц_E$  – вартість 1 квт-години ел. Енергії(3,45 грн);

$K_I$  – коефіцієнт інтенсивного використання потужності ( $K_{П\text{рек.}}=0,9$ )

$C_{ЕЛ} = C_{ел} = 0,6 * 6320 * 3,45 * 0,9 = 11774,16$  грн

$C^{ПІСЛЯ} = 104676 + 192 + 11774,16 + 1920 + 640 + 1500 = 120702,16$  грн

Розрахунок показників економічної ефективності проєкту. Очікуваний економічний ефект визначається по формулі 4.22:

$$E_0 = E_T - E_N * K_{П} \quad (4.22)$$

де:

$E_T$  – річна економія на поточних витратах (грн);

$K_{П}$  – одноразові витрати на проєкт (грн);

$K = 184\,470$  грн;

$E_N$  – нормативний коефіцієнт ефективності одноразових витрат (рек  $E_N = 0,25$ ; може бути також заданий господарюючим суб'єктом, або приймається на рівні процентної ставки по депозитних рахунках банку й т.п.)

Річна економія складається з поточних витрат і приросту прибутку у зв'язку із впровадженням проєкту, у такий спосіб 4.23:

$$E_T = (C_1 - C_2) + \Delta\Pi \quad (4.23)$$

де:

$C_1, C_2$  – відповідно поточні витрати ,відповідно до й після впровадження проєкту (грн);

$\Delta\Pi$  – приріст прибутку господарюючого суб'єкта або його

					<i>KPM.KI.0.442-03.1.9</i>	Арк.
						104
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

структурного підрозділу при впровадженні проекту (грн) визначається експертним шляхом.

$$E_{г} = 209352 - 120702,16 = 88\ 650 \text{ грн}$$

$$E_{о} = 88\ 650 - 0,25 * 184\ 470 = 134\ 767,5 \text{ грн}$$

Потім розраховується коефіцієнт ефективності одноразових витрат по формулі  $E = E_{г} / K_{п}$ . Якщо  $E > E_{н}$ , то проєкт ефективний.

$$E = 88\ 650 / 184\ 470 = 0,5$$

Отже  $0,5 > 0,25$  – проєкт ефективний.

За формулою 4.24 розраховується строк окупності одноразових витрат проєкту:

$$T = 1/E \tag{4.24}$$

$$T = 1 / 0,5 = 2 \text{ роки}$$

$$T = 24 \text{ місяці}$$

Нижче у таблиці 4.7 можна побачити показники проєкту.

Таблиця 4.7

Техніко-економічні показники проєкту

№	Показники	Одиниця виміру	Значення показника
1	Трудовітність розробки проєкту	дні	74
2	Ціна ПП	грн	99 675
3	Капітальні витрати	грн	184 470
4	Поточні витрати: до впровадження після впровадження	грн/рік	209 352 120 702,16
5	Економічний ефект від реалізації проєкту	грн/рік	88 650



	<p>наявність широкого спектру обладнання;  популяризація фотограмметрії в Україні;  створення віртуальних турів;  послуги лазерного сканування.</p>	<p>обмежує доступ до інформації про конкурентів).</p>
--	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------

					<i>KPM.KI.0.442-03.1.9</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		107

Назва компанії	Переваги	Недоліки
<i>Aero3D</i>	широкий спектр послуг; продаж необхідного для фотограмметрії обладнання; створення віртуальних турів; співпраця з музеями; послуги 3D друку; використання високотехнологічного програмного забезпечення; послуги лазерного сканування; власне виробництво FPV дронів.	компанія не активно рекламує свою діяльність.
<i>pixelatedrealities</i>	послуги фотосканування; послуги лазерного сканування; співпраця з музеями; широкий спектр послуг компанії; активна програма навчання та стажування в компанії; успішна реалізація проєктів завдяки залученню різних партнерів.	компанія не активно рекламує свою діяльність і уникає публічності, попри успішні проєкти та співпрацю з партнерами.
<i>KLONA3D</i>	стартап, який об'єднує людей з багатьох галузей.	недостатня фокусованість на конкретних областях; недостатньо переконливе портфоліо; розбіжність між заявленими послугами та

		фактичною діяльністю компанії.
--	--	--------------------------------

#### 4.5 Бізнес-план проєкту

Бізнес-план стартап – проєкту зі створення фотореалістичних моделей методом фотограмметрії.

Основна ціль проєкту. Наш стартап проєкт спрямований на створення фотореалістичних моделей об'єктів методом фотограмметрії на замовлення. Ми пропонуємо клієнтам послуги зі створення якісних 3D моделей на основі деталізованих фотознімків.

Аналіз ринку. На сучасному ринку існує попит на фотореалістичні 3D моделі у таких галузях, як архітектура, інтер'єрний дизайн, електронна комерція та реклама. Популярність використання такої технології, як віртуальна реальність також створює попит на 3D моделі для використання у візуалізації.

Розробка. Ми використовуємо спеціальне програмне забезпечення, щоб автоматично створювати основу для моделі з набору фотографій. Після створення основної моделі ми вдосконалюємо її, додаючи більше деталей та реалістичності. Ми створюємо 3D моделі, повністю готові для використання в різних сферах, таких як архітектурні візуалізації, ігри, експорт на різні платформи, а також для презентації товарів на вебресурсах замовника.

Фінансові доходи. Для створення портфоліо ми плануємо взяти участь у різних навчальних програмах та конкурсах, які передбачають надання фінансової підтримки для подальшого розвитку проєкту.

Ми активно шукатимемо грантові програми, які фінансують стартапи у сфері інноваційних технологій. Такі гранти можуть забезпечити нам необхідні кошти на проведення подальших досліджень та створення портфоліо.

Ми будемо брати участь у різних конкурсах та звертатися до інвестиційних фондів, які зацікавлені у підтримці інноваційних проєктів у галузі технологій. Це може надати нам не лише фінансову підтримку, але й доступ до експертних знань та мережі контактів.

					KPM.KI.0.442-03.1.9	Арк.
						109
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Одним із пунктів фінансування стартапу є можливість монетизації моделей через їх розміщення в різноманітних бібліотеках та платформах. Інші користувачі матимуть можливість використовувати наші моделі за певну плату, коли вони розміщені у відповідних бібліотеках або платформах. Це відкриє додатковий потік доходів для нашого стартапу, а також забезпечить можливість широкого поширення та використання наших продуктів у галузях, де є попит на фотореалістичні 3D моделі.

Отримавши досвід та створивши портфолію, наш проєкт зможе брати участь у тендерах з закупівлі послуг створення різноманітних продуктів з використанням 3D моделей для туристичної галузі.

Також проєкт почне пропонувати свої послуги клієнтам. Наприклад:

Виробникам меблів, посуду, дизайнерам інтер'єрів, ландшафтним дизайнерам – для візуалізації їхнього продукту та подальшого використання в рекламних цілях.

Архітекторам, будівельним компаніям, виробникам модульних будинків – для візуалізації їхнього продукту та подальшого використання в рекламних цілях.

Готелям та туристичним компаніям – для створення віртуальних турів.

Іншим комерційним компаніям для створення реалістичних віртуальних моделей пропонованих ними товарів (рис. 4.1) для розміщення на вебресурсах цих компаній[34].

					<i>KPM.KI.0.442-03.1.9</i>	Арк.
						110
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		



Рис. 4.1 – Віртуальна модель швидкої допомоги

## Висновки до четвертого розділу

1. Було досліджено аспекти впровадження нового програмного продукту, окреслено його потенційну вигоду та ринкову нішу. Детально описані етапи виконання проєкту, склад робіт та маркетингова стратегія.

2. За розрахунками впровадження нового програмного продукту буде економічно вигідним. Ретельно оцінені трудомісткість, ціна, матеріальні витрати та інші показники, що свідчать про рентабельність проєкту.

3. Застосування методу фотограмметрії є перспективним з точки зору його ефективності та можливостей для розвитку, а порівняння з конкурентами дозволяє усвідомити основні стратегічні переваги та недоліки для подальшого успішного позиціонування на ринку.

4. Було розроблено бізнес-план, який чітко визначає цілі проєкту, стратегію їх досягнення, аналіз ринку, розробку, джерела фінансування.

					<b>KPM.KI.0.442-03.1.9</b>	Арк.
						111
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

## РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ

### 5.1 Основні положення охорони праці

Охорона праці – це комплексна система заходів, що охоплює законодавчі, організаційно-технічні, соціально-економічні, санітарно-гігієнічні та лікувально-профілактичні аспекти, спрямовані на збереження життя, здоров'я та працездатності працівників під час трудової діяльності. Метою охорони праці є забезпечення безпеки і здоров'я працівників, а також створення комфортних умов праці, що сприятимуть максимальній продуктивності та ефективності праці.

Організація охорони праці на підприємстві потребує систематичного підходу. Такий підхід до управління безпекою працівників передбачає як організацію робочих місць відповідно до санітарно-гігієнічних норм і забезпечення працівників засобами індивідуального захисту, так і регулярне проведення інструктажів та навчань. Оцінка ризиків та управління ризиками на робочому місці, ідентифікація потенційних небезпек – важлива складова охорони праці. На основі аналізу потенційних небезпек необхідно вживати заходів для усунення цих небезпек або для їхньої мінімізації.

В даній кваліфікаційній роботі досліджено питання охорони праці на робочому місці, де здійснюється робота зі створення реалістичних 3D моделей методом фотограмметрії, а також умови виконання роботи. Особливу увагу потрібно приділяти створенню безпечного робочого середовища, яке мінімізує ризики для здоров'я працівників, включаючи фізичні, психоемоційні та ергономічні аспекти.

### 5.2 Умови та недоліки роботи за комп'ютером

Робота за комп'ютером має свої специфічні вимоги до умов праці, які необхідно враховувати для забезпечення здоров'я і безпеки працівників та

					<i>KPM.KI.0.442-03.1.9</i>	Арк.
						112
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

специфічні недоліки. Одним з основних недоліків є тривале перебування працівників в сидячому положенні. Це може призводити до проблем з опорно-руховим апаратом. Зокрема, регулярне тривале перебування в сидячому положенні до болю в спині, шиї та кінцівках. Для зменшення негативного впливу сидячої роботи необхідно забезпечити працівників ергономічними меблями, які підтримують правильну поставу.

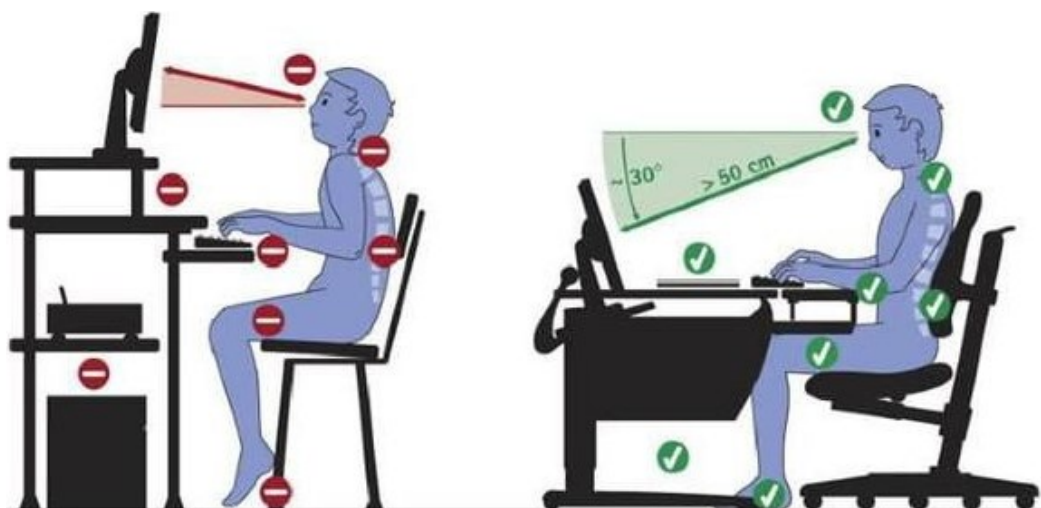


Рис. 5.1 – Правильна постава за комп'ютером

Іншим важливим аспектом є зорове навантаження, обумовлене тривалим використанням комп'ютерного монітора. У працівників можуть виникати такі проблеми, як втомлюваності очей, головний біль. Існує ймовірність погіршення зору. Для зменшення зорового навантаження рекомендується використовувати монітори з високою роздільною здатністю та функцією зниження синього світла. Також потрібно організувати правильне освітлення робочого місця і робити регулярні перерви в роботі для відпочинку очей.

Отже, при організації належних умов роботи потрібно враховувати такі моменти, як правильне розміщення обладнання, ергономічні меблі, оптимальне освітлення, регулярні перерви для відпочинку очей і зміну положення тіла. Також потрібно вживати заходи для зниження стресу та підвищення загального комфорту. Дотримання вказаних умов сприятиме підвищенню продуктивності працівників, збереженню їхнього здоров'я та створенню позитивної робочої атмосфери.

					КРМ.КІ.0.442-03.1.9	Арк. 113
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

### 5.3 Електробезпека

Електробезпека при роботі з комп'ютером передбачає дотримання заходів безпеки, спрямованих на запобігання електротравмам і забезпечення безперебійної роботи обладнання. Важливими аспектами електробезпеки є правильне заземлення техніки, використання сертифікованих розеток і подовжувачів, регулярна перевірка справності електропроводки та електроприладів, а також наявність засобів захисту від перепадів напруги і короткого замикання.

Основними заходами електробезпеки є:

1. Правильне заземлення: всі комп'ютери та інше електрообладнання повинні бути правильно заземлені для запобігання електротравмам і забезпечення стабільної роботи техніки.
2. Використання сертифікованих пристроїв: електропроводка, розетки, подовжувачі та інші електропристрої повинні бути сертифіковані та відповідати встановленим стандартам безпеки.
3. Регулярна перевірка: проводити регулярні перевірки справності електрообладнання та електропроводки для виявлення та усунення потенційних небезпек.
4. Захист від перепадів напруги: використовувати стабілізатори напруги та інші засоби захисту для запобігання пошкодженню техніки через перепади напруги.
5. Навчання персоналу: працівники повинні бути проінформовані про основні правила електробезпеки та вміти правильно діяти в разі виникнення аварійної ситуації.

Забезпечення електробезпеки на робочому місці є критично важливим для збереження здоров'я працівників та забезпечення безперебійної роботи обладнання. Це включає не лише технічні заходи, але й регулярне навчання та підвищення обізнаності працівників щодо потенційних ризиків та способів їх уникнення.

					КРМ.КІ.0.442-03.1.9	Арк.
						114
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

## 5.4 Пожежна безпека при роботі з комп'ютером

При роботі з комп'ютерами на підприємстві необхідно дотримуватися норм і правил пожежної безпеки. Комп'ютерне обладнання та інші електроприлади можуть бути джерелами пожежної небезпеки. Існує ймовірність коротких замикань через перегрівання компонентів або неправильне використання обладнання. Для забезпечення пожежної безпеки на підприємстві необхідно вжити наступних заходів:

1. Розробити інструкцію з пожежної безпеки для співробітників та ознайомити їх з цією інструкцією.
2. Розробити план евакуації у випадку пожежі. Розмістити план евакуації таким чином, щоб його було добре видно.
3. Мати необхідну кількість евакуаційних виходів з приміщення в разі виникнення пожежі. Належним чином позначити ці виходи.



Рис. 5.2 – Вказівні знаки – призначені для зазначення евакуаційних виходів

					КРМ.КІ.0.442-03.1.9	Арк.
						115
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

4. Встановити системи пожежної сигналізації та оповіщення відповідно до законодавчих норм. Забезпечити приміщення засобами пожежогасіння. У приміщенні повинні бути вогнегасники, які відповідають вимогам пожежної безпеки, а також інші первинні засоби пожежогасіння.

5. Правильно розмістити електричні кабелі: кабелі повинні бути розміщені так, щоб уникнути їхнього пошкодження або перегрівання. Не допускається прокладання кабелів під килимами або в місцях з високим навантаженням.

6. Регулярно проводити перевірку та обслуговування. Електрообладнання повинно регулярно перевірятися та обслуговуватися для запобігання виникненню несправностей, що можуть стати причиною пожежі.

7. Проводити навчання працівників. Персонал повинен знати правила поведінки у випадку пожежі, вміти користуватися засобами пожежогасіння та знати маршрути евакуації.

8. Використовувати пожежобезпечні матеріали. Оздоблення приміщень та меблі повинні бути виготовлені з матеріалів, що мають високу стійкість до займання.

Пожежна безпека є важливим аспектом охорони праці, який вимагає постійної уваги та контролю.

### **Висновки до п'ятого розділу**

1. Було розглянуто умови для забезпечення безпеки, здоров'я та працездатності працівників.

2. Проаналізовано важливість забезпечення електробезпеки та пожежної безпеки, які є критичними компонентами охорони праці, спрямованими на збереження здоров'я працівників.

3. Визначено заходи, що сприяють формуванню безпечного робочого середовища, що знижує ризики виникнення небезпечних ситуацій.

					<b>KPM.KI.0.442-03.1.9</b>	Арк.
						116
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Під час роботи над проектом було встановлено, що фотограмметрія дійсно може бути ефективно використана для створення 3D моделей реальних об'єктів, забезпечуючи точність і реалістичність. Навіть якщо це модель створена за допомогою мобільного додатку для фотограмметрії.

2. В результаті роботи над проектом було:

- проаналізовано варіанти створення 3d моделей;
- поняття фотограмметрії і початок роботи з цією технологією;
- розглянуто різні програмні засоби для створення моделей методом фотограмметрії. описані їх недоліки та переваги;
- описано етапи роботи над моделями;
- описано процеси оптимізації створених моделей;
- доопрацьовано моделі, які мали недолік через брак інформації, або особливості форми;
- виправлення текстур з використанням вбудованого в *Photoshop* інструменту ШІ;
- створено анімації, які демонструють створені моделі;
- редагування анімації в *After Effects*;

3. Отримана в результаті анімація демонструє три відтворені реальні об'єкти, які мають:

- розгалужену форму;
- великий розмір;
- складну структуру.

4. Проект має перспективи розвитку: з часом планується приділити більше уваги до оптимізації створених моделей. Бо хоч моделі мають гарний вигляд, є куди покращувати рівень їхньої деталізації та реалістичності. Також можна відтворити є інтерес до відтворення складніші об'єкти з поєднанням результатів фотосканування і лазерного вимірювання.

					KPM.KI.0.442-03.1.9	Арк.
						117
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Білоус В.В., Боднар С.П. Фотограмметрія. Навчальний посібник. – К.: Київський національний університет імені Тараса Шевченка, 2021 р. – 137 с.
2. Фотограмметрія: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. / О. Л. Дорожинський, Р. Тукай ; М-во освіти і науки України, Нац. ун-т «Львів. політехніка». – Л. : Вид-во Нац. ун-ту «Львів. політехніка», 2008. – 332 с.
3. Кочеригін Л.Ю. Фотограмметрія: навч. посіб. для студ. аграрних закладів вищої освіти галузі знань 19 «Архітектура та будівництво» спеціальності 193 «Геодезія та землеустрій». Біла Церква: БНАУ, 2019. 496 с.: іл.
4. Пілічева М. О. Сучасні технології геоінформатики, фотограмметрії та дистанційного зондування : конспект лекцій для здобувачів третього (освітньонаукового) рівня вищої освіти спеціальності 193 – Геодезія та землеустрій) / М. О. Пілічева ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2023. – 110 с.
5. Геодезичний енциклопедичний словник /За редакцією Володимира Літинського. – Львів: Євросвіт, 2001. - 668 с.
6. Методичні вказівки до оцінки науково-технічної ефективності розробки нової технології, нового обладнання та інших інновацій. Для студентів всіх спеціальностей СВО «бакалавр» і «магістр» денної і заочної форм навчання.
7. Що таке фотограмметрія, як вона допомагає зберегти українську спадщину і чим корисна для геймдеву. URL: <https://gamedev.dou.ua/blogs/skeiron-developer-about-photogrammetry/> (дата звернення: 13.04.2023).
8. Офіційна документація до Meshroom. URL: <https://meshroom-manual.readthedocs.io/en/latest/index.html> (дата звернення: 20.03.2024).
9. Поради щодо використання програми Instant Meshes. URL: <https://styly.cc/tips/jp-instant-meshes/> (дата звернення: 05.04.2023).
10. Frame.io Insider. «Photogrammetry: The Future of Filmmaking». URL: <https://blog.frame.io/2021/06/14/photogrammetry-future-of-filmmaking/> (дата звернення: 29.03.2024).

					KPM.KI.0.442-03.1.9	Арк.
						118
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

11. *Capturing Reality. «RealityCapture in Ghost in the Shell.» Capturing Reality.*  
URL: <https://www.capturingreality.com/RealityCapture-In-Ghost-In-The-Shell>  
(дата звернення: 29.03.2024).
12. *Forest Monitoring Designed for Action.* URL: <https://www.globalforestwatch.org/>  
(дата звернення: 29.03.2024).
13. Про створення *PBR* матеріалів з фотограмметричних сканів за допомогою *ArtEngine.* URL: <https://80.lv/articles/generating-pbr-materials-from-photogrammetry-scans-using-artengine/> (дата звернення: 29.03.2024).
14. Проекція реалістичних тривимірних фотограмметричних моделей за допомогою стереоскопічного дисплея. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36934316/> (дата звернення: 29.03.2024).
15. Поради для роботи з *Blender.* URL: <https://www.youtube.com/@Stanisslayer>  
(дата звернення: 27.03.2024).
16. Встановлення контрольних точок в *3DF Zephyr.* URL: <https://www.3dflow.net/technology/documents/3df-zephyr-tutorials/tutorial-manage-control-points-distances-3df-zephyr/> (дата звернення: 22.03.2024).
17. Опис і порівняння фотограмметричного ПЗ. URL: <https://formlabs.com/de/blog/photogrammetrie-leitfaden-und-software-vergleich/> (дата звернення: 12.03.2024).
18. Хто та як оцифровує спадщину в Україні. URL: <https://skvot.io/uk/blog/who-and-how-digitizes-heritage-in-ukraine> (дата звернення: 29.02.2024).
19. ШІ для *3D* моделювання. URL: <https://www.masterpieceex.com/> (дата звернення: 17.02.2024).
20. Стаття «*Foundations and guidelines for high-quality three-dimensional models using photogrammetry: A technical note on the future of neuroanatomy education*», опублікована в *Anatomical Sciences Education*, про використання фотограмметрії для створення реалістичних *3D* моделей анатомічних структур. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36934316/> (дата звернення: 29.03.2024).

					<b>KPM.KI.0.442-03.1.9</b>	Арк.
						119
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

21. *Ubisoft CandyShop Days 2019* – використання фотограмметрії у створенні матеріалів *PBR*. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=YWJJeqodWuw> (дата звернення: 29.03.2024).
22. Команда *AGP* у співпраці з *FARO* цієї суботи провела екстрену операцію, щоб захистити Нотр-Дам. URL: <https://artgp.fr/references/notre-dame> (дата звернення: 30.10.2023).
23. Проєкт зі сканування архітектурних пам'яток від німецької компанії. URL: <https://www.topotwin.com/de/kultur> (дата звернення: 23.10.2023).
24. Фотограмметрія у ігровій індустрії. Досвід *4A Games*. URL: <https://smns-games.com/fotogrammetriya-u-igroviy-industii-dosvid-4a-games/> (дата звернення: 16.10.2023).
25. Фотограмметрія: у яких випадках застосовується. URL: <https://addtive.com.ua/fotohrammetriya/> (дата звернення: 18.08.2023).
26. Проєкт з *AR* поштівками. URL: <https://pocketcityar.com/> (дата звернення: 23.05.2024).
27. *A Short history of Photogrammetry*. URL: <https://teach.dariah.eu/mod/hvp/view.php?id=860> (дата звернення: 06.03.2024).
28. Проєкт *PNOA* URL: <https://pnoa.ign.es/> (дата звернення: 30.10.2023).
29. *Polycam*. URL: <https://poly.cam/tools/photogrammetry> (дата звернення: 23.05.2024).
30. *Sketchfab*. URL: <https://sketchfab.com/feed> (дата звернення: 23.05.2024).
31. *Nira*. URL: <https://nira.app/> (дата звернення: 23.05.2024).
32. Пергамон-музей. URL: <https://www.smb.museum/online-angebote/> (дата звернення: 30.09.2023).
33. Віртуальні 3D-тури *SyArk*. URL: <https://www.smb.museum/online-angebote/> (дата звернення: 30.09.2023).
34. Віртуальна модель швидкої допомоги на сайті виробника. URL: <https://avtospetsprom.com/ua/products> (дата звернення: 30.09.2023).
35. Бібліотека матеріалів *Blender Kit*. URL: <https://www.blenderkit.com/> (дата звернення: 30.04.2024).

					<b>KPM.KI.0.442-03.1.9</b>	Арк.
						120
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		