

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БУДІВНИЦТВА І
АРХІТЕКТУРИ**

Факультет геоінформаційних систем і управління територіями

Кафедра геоінформатики та фотограмметрії

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО АТЕСТАЦІЙНОЇ ВИПУСКНОЇ РОБОТИ
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА**

на тему:

Методика 3D моделювання архітектурних споруд для інтегрування
віртуального середовища

Стадник Ірина Юріївна

Київ – 2021 року

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БУДІВНИЦТВА І
АРХІТЕКТУРИ**

Факультет геоінформаційних систем і управління територіями

Кафедра геоінформатики та фотограмметрії

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ проф., д.т.н. Карпінський Ю.О.

“ _____ ” _____ 2021 року

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО АТЕСТАЦІЙНОЇ ВИПУСКНОЇ РОБОТИ
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА**

Методика 3D моделювання архітектурних споруд для інтегрування
віртуального середовища

Виконала студентка групи ГСТ-61м

193 «Геодезія та землеустрій»

Геоінформаційні системи і технології

Стадник І.Ю.

Керівник: Горковчук Ю.В.,

доцент, к.т.н.

Ідентичність підтверджую

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**

Факультет: Геоінформаційних систем та управління територіями

Кафедра: Геоінформатики і фотограмметрії

Освітній рівень: «магістр за ОПП»

Спеціальність: 193 «Геодезія та землеустрій»

Спеціалізація: Геоінформаційні системи і технології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Декан факультету

_____ доцент., к.т.н. Нестеренко О. В.

“ ____ ” _____ 2021 року

З А В Д А Н Н Я

**ДО ВИКОНАННЯ АТЕСТАЦІЙНОЇ ВИПУСКНОЇ РОБОТИ
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА**

Стадник Ірина Юріївна

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Методика 3D моделювання архітектурних споруд для інтегрування віртуального середовища

затверджена наказом ректора КНУБА № 1653/2 від 16 вересня 2021 року

2. Керівник роботи к.т.н., доц. Горковчук Юлія Вікторівна

3. Строк подання студентом роботи до захисту: 13 грудня 2021 року

4. Зміст пояснювальної записки за розділами:

Р.1. Тривимірне моделювання архітектурних споруд

Р.2. Методичні засади тривимірного моделювання архітектурних споруд для інтегрування в VR

Р.3. Тривимірне моделювання архітектурної споруди та інтеграція у віртуальне середовище на прикладі школи в місті Люцерн

Р.4. Економіка і охорона праці

5. Графічний матеріал за розділами

6. Календарний план виконання роботи:

Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)
Розділ 1. Тривимірне моделювання архітектурних споруд Моделювання архітектурних споруд (визначення, класифікація існуючих моделей та підходів, огляд CAD та BIM моделювання). Аналіз впровадження віртуальних технологій в Україні та Світі (класифікація технологій VR, AR тощо, огляд сфер застосування, постановка завдань). Особливості створення моделей архітектурних споруд для віртуального середовища (огляд підходів до створення VR, огляд програмних засобів та інструментів).	30.09.2020
Розділ 2. Методичні засади тривимірного моделювання архітектурних споруд для інтегрування в VR. Розроблення методики 3D моделювання архітектурних споруд для інтегрування в VR. Розроблення технологічної схеми інтегрування 3D моделі в VR.	15.10.2020
Розділ 3. Тривимірне моделювання архітектурної споруди та інтеграція у віртуальне середовище на прикладі школи в місті Люцерн. Дослідне тривимірне моделювання. Інтегрування моделі у віртуальне середовище засобами Unreal Engine. Аналіз проблем методики 3D моделювання архітектурних споруд для інтегрування в VR.	15.11.2020
Розділ 4. Економіка і охорона праці	30.11.2020
Остаточне оформлення роботи	02.12.2020
Направлення роботи на рецензування, перевірку на плагіат	07.12.2020
Попередній захист роботи на кафедрі	13.12.2020

7. Дата видачі завдання 17 вересня 2021 р.

Зав. кафедри _____ Карпінський Ю.О.

Керівник _____ Горковчук Ю.В.

Студент _____ Стадник І.Ю.

РЕЗЮМЕ (summary) <i>до атестаційної випускної роботи студента:</i>		Стадник Ірина Юрївна	
<i>Назва ВНЗ</i>	Методика 3D моделювання архітектурних споруд для інтегрування віртуального середовища		
<i>Освітній тупінь</i>	Магістр за освітньо-професійною програмою навчання		
<i>Факультет</i>	Геоінформаційних систем та управління територіями		
<i>Кафедри</i>	Геоінформатики та фотограмметрії		
<i>Спеціальність</i>	193 Геодезія та землеустрій		
<i>Спеціалізація</i>	Геоінформаційні системи і технології		
<i>Керівник</i>	Горковчук Юлія Вікторівна, к.т.н., доцент		
<i>Обсяг роботи</i>	<i>пояснювальна записка, стор.</i>	<i>розділів</i>	<i>креслень формату A4</i>
	62	4	
<i>Розділ 1</i>	Виконано класифікацію існуючих моделей та підходів. Проведено аналіз впровадження віртуальних технологій в Україні та Світі. Описано особливості створення моделей архітектурних споруд для віртуального середовища.		
<i>Розділ 2</i>	Докладно розглянуто методику 3D моделювання архітектурних споруд для інтегрування у VR, а саме алгоритм завантаження BIM-моделі у віртуальне середовище, описані головні вимоги до проекту. Також розроблена технологічна схема інтегрування.		
<i>Розділ 3</i>	Проведено дослідну реалізацію методики 3D моделювання обраного об'єкту, виконано етапи моделювання в ArchiCAD та викладено результати. Апробовано методику інтегрування моделі у віртуальне середовище засобами Unreal Engine 4, налаштування фону, світла, постановка камери та складання відеоролику. Викладено результати інтегрування 3D моделі, проведені аналіз та оцінка ефективності методики.		
<i>Розділ 4</i>	Складений кошторис виконаних робіт та описані норми охорони праці		
<i>Висновки по роботі:</i>	В роботі розглянуто візуалізацію тривимірної BIM моделі у віртуальному середовищі на основі використання інструменту Unreal Engine. Алгоритм інтегрування моделі у VR складається з таких кроків: перетворення геометрії, властивостей, текстур, топології, для кожного визначено оптимальні параметри. Результатом дослідного моделювання за запропонованою методикою є високоточна BIM модель архітектурної споруди. Незважаючи на загальний успішний результат інтегрування, слід зазначити певні труднощі, що потребують доопрацювання в подальшому.		
Ключові слова: 3D модель, віртуальне середовище, ArchiCAD, методичні засади тривимірного моделювання, Unreal Engine 4			
Keywords: 3D model, virtual environment, ArchiCAD, methodical principles of 3D modeling, Unreal Engine 4			

Укладач: _____ /Стадник І.Ю./

Керівник: _____ /Горковчук Ю.В./

«____» _____ 2021

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1 ТРИВИМІРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ АРХІТЕКТУРНИХ СПОРУД	9
1.1 Моделювання архітектурних споруд	10
1.2 Аналіз впровадження віртуальних технологій в Україні та Світі	14
1.3. Особливості створення моделей архітектурних споруд для віртуального середовища	21
Висновок до розділу.....	24
РОЗДІЛ 2 МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ ТРИВИМІРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ АРХІТЕКТУРНИХ СПОРУД ДЛЯ ІНТЕГРУВАННЯ В ВР	25
2.1 Розроблення методики 3D моделювання архітектурних споруд для інтегрування в ВР	26
2.2 Розроблення технологічної схеми інтегрування 3D моделі в ВР	31
Висновок до розділу.....	36
РОЗДІЛ 3 ТРИВИМІРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ АРХІТЕКТУРНОЇ СПОРУДИ ТА ІНТЕГРАЦІЯ У ВІРТУАЛЬНЕ СЕРЕДОВИЩЕ НА ПРИКЛАДІ ШКОЛИ В МІСТІ ЛЮЦЕРН	37
3.1 Дослідне тривимірне моделювання.....	38
3.2 Інтегрування 3D моделі у віртуальне середовище засобами Unreal Engine	43
3.3 Аналіз проблем методики 3D моделювання архітектурних споруд для інтегрування в ВР	49
Висновок до розділу.....	52
РОЗДІЛ 4. Економіка і охорона праці.....	54
Висновки.....	57
Список літератури.....	59
ДОДАТКИ	63

ВСТУП

3D моделювання – процес створення тривимірного графічного об'єкта – дозволяє максимально реалістично візуалізувати моделі архітектурних споруд, інтер'єрів, об'єктів ландшафту, ігрових персонажів, що й зумовлює таке його поширення сьогодні в різних сферах – в архітектурі і будівництві, дизайні, медицині, фізиці, біології тощо. Застосування імерсивних технологій для відображення змодельованих об'єктів реального світу є наступним кроком з огляду на розвиток і доступність технологічних засобів та інструментів. Технології віртуальної реальності (VR) надають доступ до даних BIM в умовах занурення і візуалізації, аналізуючи багато факторів для генерування ефективного рішення в реальному часі. При цьому, перенесення інформаційної моделі у VR вимагає розроблення алгоритмів, що забезпечать максимальне збереження геометричних та атрибутивних характеристик.

Актуальність теми обумовлена широким застосуванням технологій інформаційного моделювання будівель в сучасному проектуванні і зростанням популярності технологій віртуальної реальності для візуалізації результатів.

Метою роботи є розроблення методики тривимірного моделювання будівель і споруд для подальшого інтегрування результату в віртуальне середовище. Для досягнення мети в роботі поставлено та вирішено такі завдання:

- аналіз впровадження віртуальних технологій, програмних засобів та інструментів;
- розроблення методики 3D моделювання архітектурної споруди з урахуванням вимог до її подальшого інтегрування в VR;
- розроблення алгоритму інтегрування 3D моделі у віртуальне середовище;
- оцінка ефективності запропонованої методики на основі експериментальної реалізації моделювання об'єкта в середовищі AchiCAD з подальшим інтегруванням в VR засобами Unreal Engine.

Об'єкт дослідження – тривимірне моделювання будівель і споруд.

Предмет дослідження – алгоритм інтегрування тривимірної моделі у віртуальне середовище.

1.1 Моделювання архітектурних споруд

Тривимірне моделювання – це комп'ютерна графіка, що поєднує в собі прийоми і інструменти, необхідні для створення об'ємних об'єктів в тривимірному просторі. Під прийомами варто розуміти способи формування тривимірного графічного об'єкту – розрахунок його параметрів, креслення «скелету» або об'ємної, не деталізованої форми, витискання, нарощування і вирізання деталей. А під інструментами – професійні програми для 3D моделювання. В першу чергу – SolidWork, ProEngineering, 3DMAX, ArchiCAD, а також деякі інші програми для об'ємної візуалізації предметів у просторі. [1]

Технологічна схема процесу 3D моделювання включає три загальних етапи: моделювання геометрії, налаштування характеристик та візуалізація (рис. 1.1). [2]

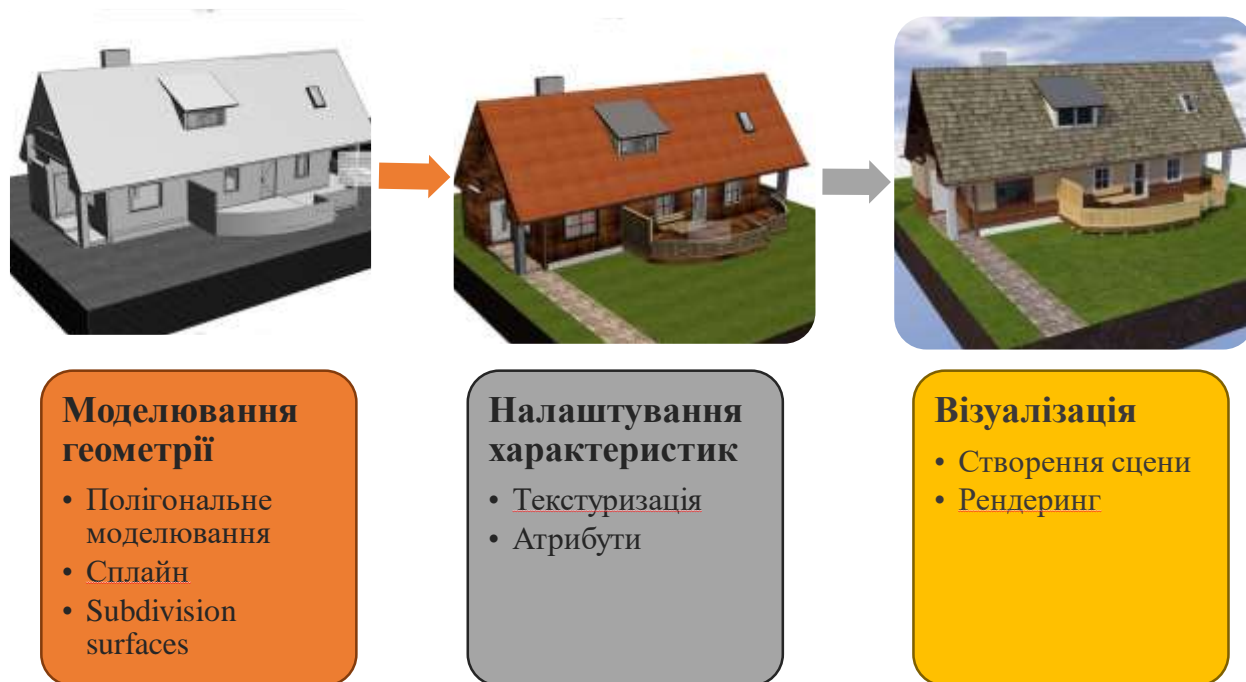


Рис. 1.1 Технологічна схема процесу 3D моделювання

Моделювання геометрії за змістом є процесом тривимірного моделювання – процесом створення математичного подання будь-якої тривимірної поверхні об'єкта за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення. Аналіз поширених сьогодні тривимірних моделей свідчить про значний розвиток інструментів та засобів для їх створення і використання

(табл.1.1). Очевидно, що вибір типу моделі подання об'єкту залежить від завдань моделювання та потреб кінцевого користувача.

Таблиця 1.1. Аналіз тривимірних моделей

Назва моделі	Опис	Формат	ПЗ	Переваги
Функціональна поверхня	безперервне поле значень, всі точки якого можуть мати тільки одне значення висоти (z-значення) для кожної пари координат x, y (2,5D)	TIN GRID	ГІС	Прості структури у вигляді регулярного масиву даних Велика кількість методів обробки масивів
Істинні 3D поверхні	зберігають істинне 3D зображення, яке має кілька z-значень на пару координат x, y.	Voxel netCDF	ГІС	Подає багатовимірну просторову/часову інформацію в тривимірній об'ємній візуалізації
Полігональні моделі	результат апроксимації поверхні ділянками площин, обмеженими прямими лініями – полігонами	.obj («Розширений візуалізатор» Wavefront)	ГІС, CAD	Точність відображення поверхні залежить від рівня деталізації (кількості полігонів) Простота візуалізації
Параметричні моделі	створення математичної моделі із параметрами, зміна яких тягне за собою зміну всієї конфігурації об'єкту	.dxf, .dwg, .dwt, пов'язані з AutoCAD	CAD	Твердотільне моделювання ВІМ

Програмне забезпечення замінює ручне креслення автоматизованим процесом. Спираючись на наявні технології в комп'ютерній і інформаційній сфері, на нові концепції і підходи в області проектування і будівництва, розробниками створено наступне, нового покоління цифрове поле BIM – інструмент керування процесами життєвого циклу будівлі і є об'єктивним джерелом інформації з високим ступенем достовірності для підтримки моделі в актуальному стані. Термін BIM з'явився в широкому обігу в 1992 році (рис. 1.2). Однак сама концепція моделювання в будівництві з'явилася і почала застосовуватися на два десятиліття раніше. Піонером виступила Британія, і до теперішнього часу там досягнутий найвищий рівень проникнення BIM-технологій в світі – 70%. Модель, виконана за технологією BIM, включає в себе не тільки несучі лінії і текстуру матеріалів, а й інші дані: технологічні, економічні та інші, які мають відношення до будівлі. При цьому враховуються фізичні характеристики об'єкта, варіанти розміщення в просторі, вартість кожного цегли, блоку, плити, плафона, кабелю, труби, ліфтових механізмів і інших елементів, з яких будується як окрема будівля, так і весь об'єкт. При цьому, що важливо, відстежуються не тільки об'єкти самі по собі, але і їх взаємозв'язки.



Рис. 1.2 Еволюція процесу переходу на BIM-технології

Згідно технологічної схеми тривимірного моделювання саме етап візуалізації потребує новітніх підходів до подання результатів – інструментів і засобів візуалізації різних типів моделей незалежно від їх точності, ступеня деталізації, засобів створення. Найкращим способом візуалізації змодельованого об'єкта сьогодні є застосування імерсивних технологій. [3]

1.2 Аналіз впровадження віртуальних технологій в Україні та Світі

Імерсивні технології (immersive – занурювати) – технології повного або часткового занурення у віртуальний світ або різні види реальності, що сьогодні включають в себе цілий спектр реальностей (рис. 1.3), де :

RR (real reality) – дослівно «реальна реальність» або об'єктивна реальність, в якій ми знаходимося і яку сприймаємо органами почуттів. Примітно, що реальну дійсність доводиться визначати. Але ж треба розуміти, з чим ми змішуємо віртуальну реальність.

VR (virtual reality) або mobile VR – віртуальна реальність – повністю змодельована дійсність із застосуванням сучасних технологій. Це не тільки 3D-або 360-сцени, це також звук, тактильні відчуття і навіть запахи.

AR (augmented reality) – доповнена реальність – augmented треба переводити швидше як «додана». Тобто ми додаємо в нашу реальну дійсність елементи віртуальної, змодельованої реальності. (рис. 1.4)

MR (mixed reality) – змішана реальність – термін з'явився завдяки запуску Windows Mixed Reality. Сам термін говорить про якийсь конкретний тип пристроїв і способи змішування реальності. Хоча по суті це VR з деякими доповненнями RR.

XR (extended reality) – розширена реальність – це загальна назва для AR-і VR-технологій.

360-фото, відео – контент, що складається з однієї 360°- або декількох зшитих фото і відео. Поширені також 360°- трансляції.



Рис. 1.3 Види реальностей

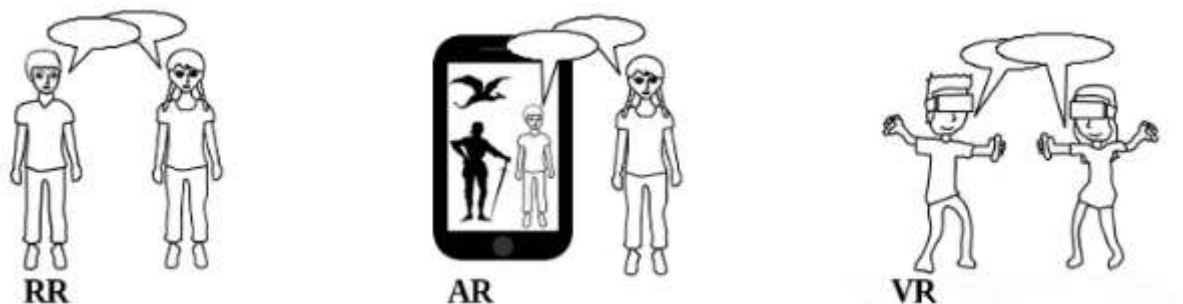


Рис. 1.4 Фізична взаємодія в реальному/доповненому/віртуальному середовищі

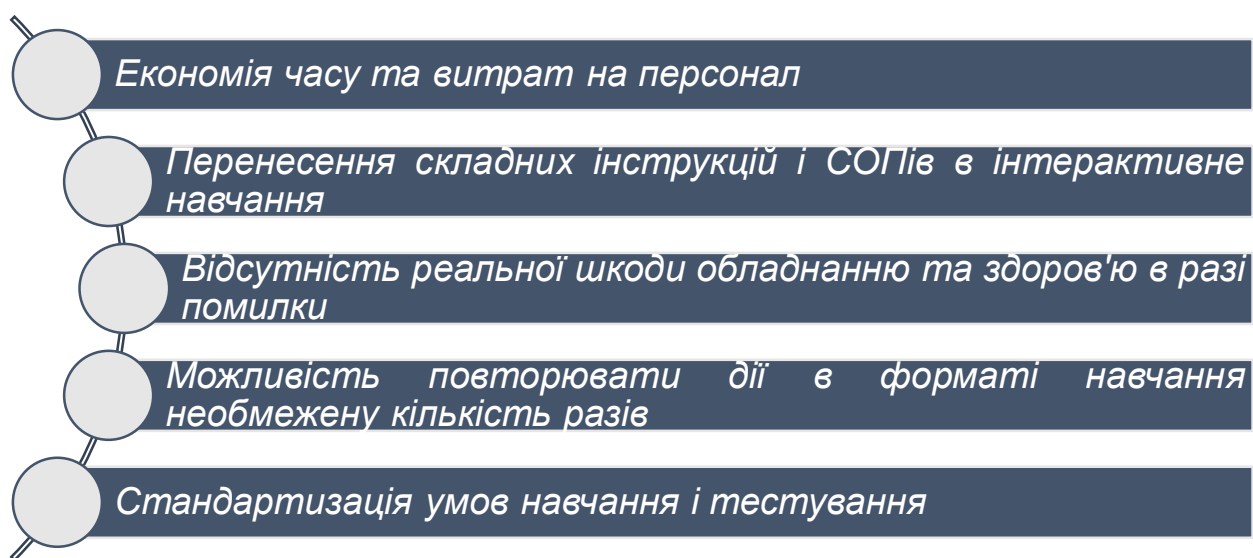
Технологічними засобами, що забезпечують доступ до імерсивних технологій є:

- 1) смартфон з VR-додатком, який вставляється у спеціальний футляр з лінзами. Найпростіше рішення – картонний Google Cardboard;
- 2) трекінгові системи. Дозволяють переміщати користувача у віртуальний простір. Зараз також ведеться розробка костюмів, які передають відчуття з віртуальної реальності – наприклад, аромати – але поки це дорогий і не дуже досконалий продукт;
- 3) спеціальні рукавички замість звичного джойстика. Цей елемент потрібен, щоб руки людини природним чином взаємодіяли з віртуальним світом;
- 4) мобільні VR-шоломи з вбудованими моніторами (HTC Vive, Oculus Go та інші). Такі пристрої більш оптимізовані для роботи в VR в порівнянні з

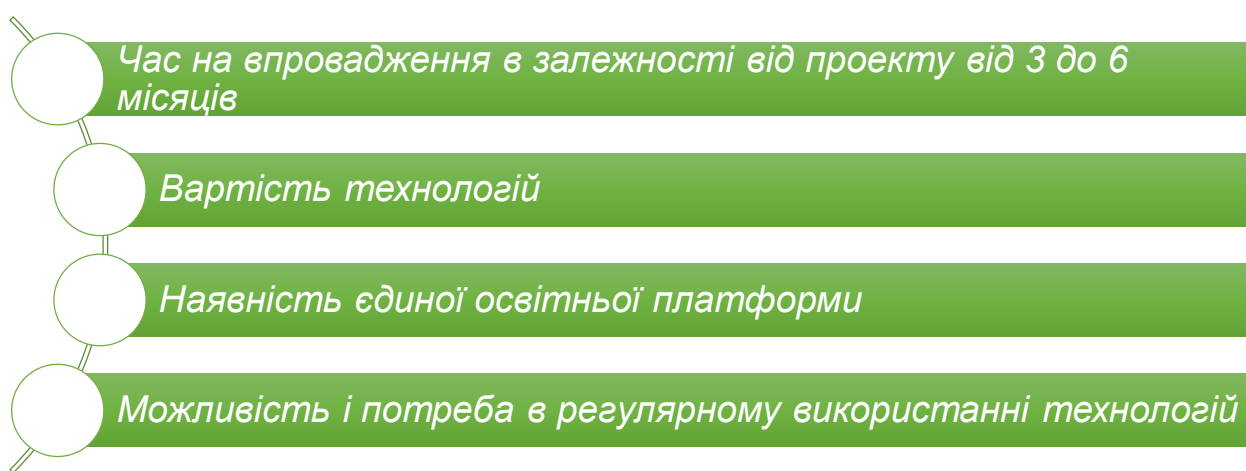
футлярами для смартфонів, у них якісна графіка, є інтегрований звук і джойстик для управління;

5) шоломи «важкого VR» (на кшталт Oculus Rift). Оброблена графіка передається на шолом по дротах від ігрового комп'ютера з потужною відеокартою. Необхідність зв'язку з ПК створює обмеження для використання, але при цьому у шоломів важкого VR більш якісна графіка і багатший потенційний користувацький досвід. Трекінгові камери фіксують положення джойстика і положення людини, занурюючи його в віртуальну реальність більш реалістично.

Переваги VR/AR:



Складності:



Цікавий проект в області VR зробила ІКЕА. Компанія запропонувала своїм клієнтам надіти спеціальні окуляри і опинитися на віртуальній кухні. Тут за допомогою джойстика вони могли прочитати книгу рецептів, приготувати тефтелі, відправити продукти на переробку. З віртуальною реальністю експериментує і німецький перевізник Deutsche Bahn. Уже чотири роки компанія пропонує своїм потенційним співробітникам надягти VR-окуляри і продемонструвати свої здібності в симуляції реального робочого дня. Ізраїльська технологічна компанія Actiview розробила платформу для дистанційного найму співробітників з використанням VR-технологій. «Симуляція у віртуальній реальності дозволяє нам контролювати те, що користувач бачить, чує, відчуває. Ми бачимо його поведінку і можемо збирати ці дані», – коментує Рой Елішка, віце-президент компанії зі стратегії та розвитку бізнесу. [4]

Віртуальна (VR) та доповнена реальність (AR) стає все більш популярною у культурних проектах в Україні. Вона допомагає залучити молоду аудиторію, робить культурні інституції більш відкритими та інклюзивними. А під час епідемії та карантину дозволяє мистецьким проектам триматися на плаву. Bird in Flight спільно з Національним бюро програми ЄС «Креативна Європа» в Україні розповідає про успішні українські культурні проекти, які знаходять у VR та AR нові можливості.

Минулого року у Харкові та Києві відбувся перший мистецький фестиваль VR та AR. Його ідея полягала в тому, аби запропонувати містам певні сучасні рішення та «інтегрувати» мистецтво в урбаністичний простір. Для цього використали можливості доповненої реальності: на вулицях розмістили QR-коди — з їх допомогою на екрані телефона можна було побачити скульптури, створені митцями для проекту. Таким чином завдяки новітнім технологіям вдалося показати, як мистецькі твори виглядали б у місті, якби не було обмежень за бюджетом, формою тощо. Саме з технологією доповненої реальності найбільше працюють музеї, які втілюють програми та проекти для залучення молодшої аудиторії. Зокрема, минулого року Sensorama

Lab за підтримки Українського культурного фонду організувала академію для музейників, дизайнерів та розробників, які створювали нові проекти для музеїв. Так з'явилася AR-екскурсія в Національному художньому музеї. Додаток розповідає історію найцінніших експонатів, окремих кімнат та показує 3D-план закладу. Технології віртуальної реальності часто використовують для того, аби показати місця, в яких складно побувати.

«Чорнобиль360» — це мультимедійний VR-проект, що дозволяє потрапити до зони відчуження з будь-якої точки світу. Він одним із перших у віртуальній реальності став популярним серед українців. Фільм показували у музеях в Україні, а також в ООН у США. А ще це успішний український проект, який отримав підтримку на Kickstarter і зібрав близько 35 тисяч євро на реалізацію. За допомогою смартфона або спеціальних окулярів можна побувати у покинутих селах, у місті-привиді Прип'ять, роздивитися станцію та укриття зблизька й побачити, як живуть самосели. Організатори говорять, що проект створений не «для гри», а для того, аби суспільство замислилося над майбутнім зони відчуження. «Метою було привернути увагу до наслідків людської активності на планеті Земля за допомогою дивовижного світу віртуальної реальності», — каже автор та продюсер проекту Кирило Покутний. VR та AR для України — не абстрактне далеке майбутнє. Уже сьогодні на курсах дизайну вам запропонують вивчати нові технології, ілюстрації в книгах оживають за допомогою смартфона, а освітні форуми проходять у віртуальній реальності за вашим комп'ютером. А в період пандемії та карантину такі можливості ще більш затребувані, адже саме зараз приходить розуміння, що працювати, навчатися та надихатися у віртуальному світі — не така вже й погана ідея. [5]

На бурхливий розвиток технологій доповненої і віртуальної реальності значний вплив зробив ринок мобільних пристроїв, який за останні 10 років змінився до невпізнання: на зміну кнопковим апаратам прийшли сенсорні смартфони та планшети з повноцінною операційною системою, оснащені потужною відеокамерою, датчиками позиціонування і гіроскопами.

Наростаюча обчислювальна потужність пристроїв і цифрова трансформація звели технології доповненої і віртуальної реальності на принципово новий рівень, де вони можуть вийти за межі індустрії розваг і охопити широкий спектр нових сфер діяльності людини. На сьогоднішній день технології віртуальної і доповненої реальності стали джерелом технологічних можливостей і сприяють не тільки створенню концептуально нових ринків, а й розширенню вже наявних.

Проекти віртуальної (VR) і доповненої (AR) реальності можуть не тільки створювати концептуально нові ринки, а й розширювати вже наявні. Існує 9 потенційних сфер застосування технологій VR і AR: відеоігри, заходи в прямому ефірі, кіно і серіали, продажі, освіту, охорону здоров'я, військову промисловість, продажу нерухомості та проектування (рис. 1.5). Незабаром пристрої віртуальної реальності стануть так само популярні і функціональні, як мобільні телефони. За допомогою таких девайсів користувачі зможуть дивитися кіно і серіали, бути присутнім на масових заходах і здійснювати покупки. А це означає, що віртуальна реальність помітно розширить можливості малого і великого бізнесу.

Доля продажів в різних сферах VR і AR до 2025 року



Рис. 1.5 Доля продажів в різних сферах VR і AR до 2025 року

Відповідно до прогнозу, зробленого аналітиками компанії IDC, з 2017-го по 2022-ий роки світовий ринок технологій доповненої (AR) і віртуальної (VR) реальності буде рости в середньому на 71,6% в рік. У 2018 році світовий обсяг продажів досягнув 27 млрд доларів, що на 92% більше торішнього. Комерційний інтерес до технологій доповненої і віртуальної реальності швидко зростає, відзначають аналітики, і після запланованого на цей рік випуску нових продуктів провідних виробників лише пришвидшиться. [6]

1.3. Особливості створення моделей архітектурних споруд для віртуального середовища

Візуалізація результатів тривимірного моделювання сьогодні є здебільшого завданням програмного забезпечення, в якому ці моделі створюються. Наприклад, ArcGIS дозволяє візуалізацію тривимірних урбанізованих територій в додатку CityEngine. Віртуальна реальність у 3D – CityEngine дозволяє створювати віртуальні 3D-міста для їх вивчення за допомогою ArcGIS 360 VR. Для занурення у віртуальне 3D-місто потрібен смартфон із VR-гарнітурою Oculus Go або Samsung Gear. [7]

Розробники ArchiCAD помістили в програму механізм фотореалістичної візуалізації Cine Render, що застосовується в Cinema 4D. Це дозволяє створювати реалістичні рендери прямо в середовищі ArchiCAD, де і був розроблений проект. Стандартний процес візуалізації включає в себе моделювання сцени, налаштування матеріалів, освітлення і камер, текстуровання і створення фінального фотореалістичного зображення (рендера). [8]

Високопродуктивна система рендерингу інтегрована і у провідну проектну платформу Autodesk Revit і здатна задовольнити вимоги архітекторів та дизайнерів на всіх етапах процесу проектування від створення концепції до візуального представлення (VR). VRay для Revit сконструйований таким чином, щоб максимально ефективно та безболісно вбудуватися у робочий процес, забезпечуючи можливість високопродуктивного рендерингу поряд із удосконаленим керуванням. Ключові характеристики VRay для Revit: якість, швидкість, простота, потужність та розумна інтеграція. VRay працює безпосередньо в Revit, при цьому не потрібно імпортувати або експортувати файли. ПЗ дозволяє отримувати професійні зображення з високою роздільною здатністю, з реалістичним освітленням, фізично точними матеріалами та камерами. [9]

Візуалізація змодельованого навколишнього світу у VR та AR також можливе із застосуванням спеціальних програмних засобів, з яких найбільш поширеними є VR Concept, Middle-ware, Unity 3D, Amira (медична 3D-візуалізація, VR системи в медицині), Unreal Engine. При цьому інтегрування різних типів тривимірних моделей має свої особливості. (таблиця 1.2)

Unreal Engine став справжньою заміною гри: заощаджує багато часу при візуалізації кінцевого результату проєктів, дозволяє в реальному часі бачити внесені зміни, а також здійснювати віртуальні тури по дизайну. Простий механізм дозволяє імпортувати дані моделі з широкого спектру додатків 3D, CAD і BIM (таких як 3ds Max, Revit, SketchUp Pro, AutoCAD) і перетворювати їх кількома натисканнями у гіперреалістичну візуалізацію віртуальної реальності.

Datasmith для Unreal Engine дозволяє розробникам з різних галузей створювати, проєктувати та візуалізувати. По-перше, Datasmith працює як частина користувацького інтерфейсу в Unreal Engine, який дозволяє користувачам вводити дані безпосередньо з десятків продуктів. По-друге, Datasmith також працює як плагін експортера для конкретних додатків. Асети імпортуються як повністю зібрані сцени з уже застосованими геометрією, освітленням, камерами, матеріалами та текстурами та у відповідних місцях.

При перенесенні сцени в Unreal Engine з CAD-файлу, який містить поверхні, визначені параметричними кривими, Datasmith розбиває поверхні об'єктів на трикутні сітки.

BIM-модель також імпортується через Datasmith. Об'єкти ArchiCAD імпортуються в Unreal Engine як єдиний об'єкт, що складається з кількох вкладених компонентів Static Mesh. Кожен об'єкт представляє шар в ArchiCAD і відображається на панелі «Шари» в Unreal Editor. Імпортуючи BIM-модель в Unreal Engine, зберігається уся описова інформація, атрибути, топологія, можна змінювати окремі об'єкти моделі, це і є основна різниця між імпортом CAD-моделі. Unreal Engine створює матеріали в сцені Datasmith за

допомогою Physically Based Rendering (PBR). Цей процес зберігає вигляд матеріалів ArchiCAD під час імпорту їх у Unreal Engine. [10]

Таблиця 1.2. Інтеграція BIM та CAD у VR

Елемент моделі/спосіб інтеграції	BIM	CAD
Геометрія	У вигляді точок/ліній/полігонів тощо	У вигляді Mesh
Атрибути	Так	Ні
Текстури	Так	Так
Топологія	Так	Ні
Програмне забезпечення	ArchiCAD, Revit, 3DS Max	AutoCAD, SolidWorks, SketchUp

Висновок до розділу

Згідно технологічної схеми тривимірного моделювання саме етап візуалізації потребує новітніх підходів до подання результатів – інструментів і засобів візуалізації різних типів моделей незалежно від їх точності, ступеня деталізації, засобів створення. Найкращим способом візуалізації змодельованого об'єкта сьогодні є застосування імерсійних технологій. Інтеграція тривимірних об'єктів у віртуальне середовище ґрунтується на максимальному збереженні інформативності та точності, в тому числі інтегруванні даних щодо атрибутів, текстур, топології елементів тощо.

В роботі розглянуто візуалізацію тривимірної BIM-моделі у віртуальному середовищі на основі використання інструменту Unreal Engine як типової задачі інтеграції змодельованих архітектурних споруд у VR.

2.1 Розроблення методики 3D моделювання архітектурних споруд для інтегрування в VR

У рамках дослідної роботи передбачається описати алгоритм передачі BIM моделі у віртуальне середовище. Для автоматизації процесу буде розроблено та апробовано програмний модуль. Процес роботи можна поділити на три етапи: (рис. 2.1)

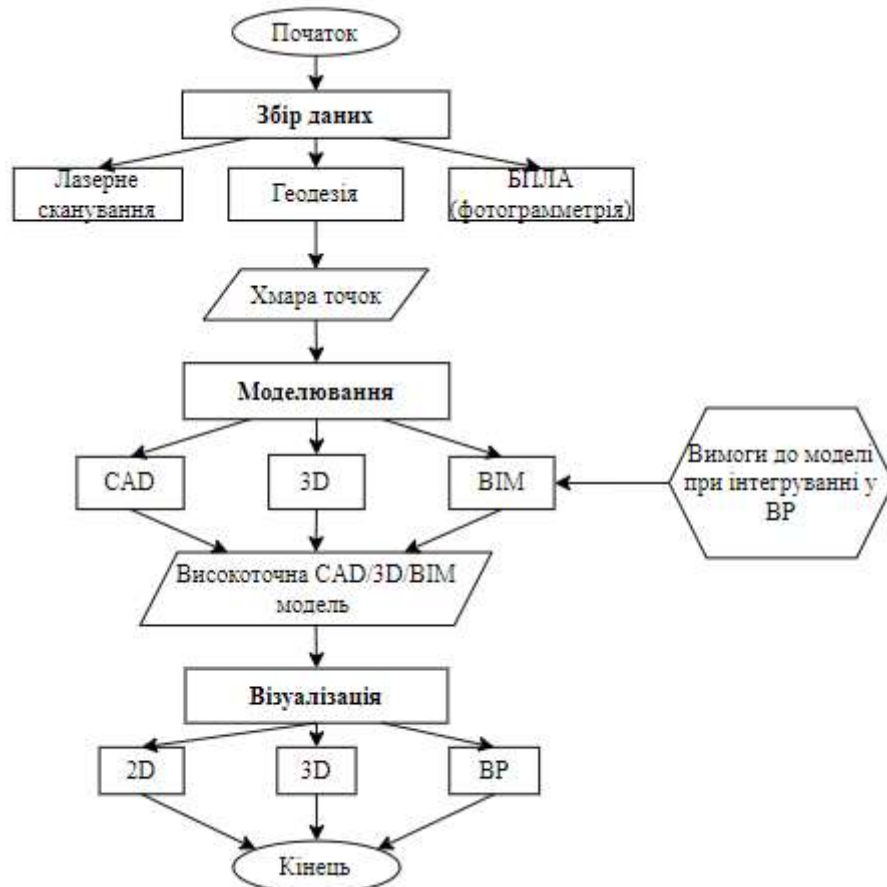


Рис. 2.1 Методика 3D моделювання

Наземне лазерне сканування є потужним методом для збору просторових даних. Лазерне сканування приміщень, будівель, споруд та територій – сучасна технологія вимірювання об'єкта у горизонтальному та вертикальному напрямках з подальшим формуванням його 3D-зображення у контурі хмари точок. Лазерне сканування має багато переваг. Час лазерної зйомки не залежить від геометрії об'єкта, що знімається, а визначається тільки необхідним розширенням при скануванні. Це дозволяє поєднувати високу швидкість зйомки з дуже високою точністю вимірів. При цьому участь людини

в процесі вимірювань зведена до мінімуму, отже, повністю виключається людський фактор. Ще одна безперечна перевага лазерного сканування – можливість проведення вимірювань у важкодоступних місцях. Таким чином, 3-вимірне лазерне сканування – це сучасний високопродуктивний метод вимірювань, який є серйозною альтернативою традиційним видам геодезичної зйомки. Єдине, в чому він поки що поступається, це значно вища вартість обладнання. [11]

Після закінчення сканування отримуємо величезний масив точок, що детально описує об'єкт зйомки. Хмару точок необхідно опрацювати, щоб створити тривимірну модель будівлі. Сюди входить реєстрація точок, зшиття, розрідження до необхідної частоти. [12]

3D моделювання можливе у формах звичайної 3D моделі, BIM моделі та CAD моделі.

Інформаційна 3D модель об'єкта (BIM) є базою даних з безліччю його властивостями і характеристиками, а також всією необхідною документацією – кресленнями та специфікаціями.

3D модель – це об'ємна фігура у просторі, що створюється у спеціальній програмі. За основу, як правило, приймаються креслення, фотографії, малюнки та докладні описи, спираючись на які, фахівці та створюють віртуальну модель.

Розробка CAD моделей має на увазі моделювання твердотільних об'ємних прототипів. [13], [14]

В дипломній роботі поданий акцент саме на BIM модель. Це новий підхід до проектування, який синхронізує всі процеси будівництва і дозволяє управляти повним життєвим циклом об'єкта. BIM дозволяє зібрати максимум даних про об'єкт, структурувати інформацію та бачити її у тривимірному вигляді. [15]

На сьогодні існують такі способи візуалізації: 2D вимір, 3D та перехід у віртуальне середовище. Останній метод потенційно може стати основним інструментом та здійснити революцію у світі. Саме він використовується для

досягнення мети в даній роботі. Сучасні системи віртуальної реальності це: візуалізація в реальному часі, взаємодія з 3D-системами створення об'ємних зображень, моделювання, інтуїтивне введення інформації.

Світ 3D-графіки не стоїть на місці. Розвиток йде геометричною прогресією. Новий крок для 3D-художника – це вивчити рендер реального часу. Існує багато програм, на чому розробляються VR-додатки, з яких дві найпопулярніші. (рис. 2.2)

Unreal Engine - ігровий двигун, що розробляється і підтримується компанією Epic Games. 4 версія цього рушія дозволяє працювати з VR технологіями. Unreal має все необхідне для дизайнерів, програмістів, причому весь вихідний код відкритий - будь-яку частину можна кастомізувати під проект. Це робить систему гнучкішою. Архітектура рендерингу Unreal Engine дозволяє розробникам досягати чудових візуальних ефектів, а також масштабуватися до систем нижчого рівня.

Unity - відмінний двигун із великими можливостями створення virtual reality сцен. Більш легкий у освоєнні, має безкоштовну версію та активну спільноту авторів. Ігровий двигун добре справляється із завданнями на кшталт тривимірного моделювання об'єктів з реального світу. Після того, як ви зберете модель і поставите потрібні властивості, можна буде подивитися, як вона працює в різних умовах, у тому числі і в русі.

Рис. 2.2 Основні програми для розробки віртуальної реальності

Нижче наведені головні вимоги до проекту (табл. 2.1).

Інтегрування у віртуальне середовище, яке проводиться в Unreal Engine 4, розглянемо у наступному пункті.

Табл. 2.1 Головні вимоги до проекту

	Назва	Опис	Значення	Обов'язковість
1	Формат	Формат файлів	FBX	+ (Існують певні модулі імпорту Datasmith, що дають

				можливість імпортувати інші формати)
2	Метрика	Мінімальний розмір деталей	1 unit = 1 см	+
3	Геометрія			
3.1	Координати об'єкта (pivot)	Якірна точка	Розташування об'єкта в центральній частині	-
3.2.	Орієнтованість	Орієнтованість відносно осей моделі	"Обличчям" модель повинна бути орієнтована в напрямку осі Oх	- (Зберігає детальність моделі)
3.3	Зайві точки та ребра	Кожне ребро має бути обгрунтоване	Не повинно бути суміжних компланарних полігонів	- (Краща передача елементів об'єкта)
3.4	Дублювання вершин	Поліпшення продуктивності	Потрібно максимально мінімізувати число дубльованих вершин	- (Краща передача елементів об'єкта)
4	Рівні деталізації			
4.1		Число рівнів деталізації залежить від складності та розміру моделі	Простий ящик, нескладний стілець, кам'яний блок – LOD'и не потрібні	-
4.2			Дерево в лісі, куц, автомобіль, будинок – 1 LOD	-
4.3			Велике дерево, великий будинок – 2 LOD'и	-
4.4			Великий корабель, заводський цех, квартал – 3 LOD'и	-
5	UV	Текстурні координати	Меші можуть використовувати UV	-

			частини для максимального використання текстур	(їх створення в 3D- пакеті забезпечить додаткове редагування)
6	Матеріали		Відповідні матеріали в LOD'ах повинні мати однаковий Material ID	+
7	Текстури			
7.1	Формат	Формат текстур	.bmp, .float, .pcx, .png, .psd, .jpg	+
7.2	Роздільна здатність	Роздільна здатність текстур	Усі текстури повинні мати розширення кратне двом (32, 64, 1024, 2048)	+ (Epic Games найчастіше використовує текстури роздільною здатністю 2048px)

[16]

2.2 Розроблення технологічної схеми інтегрування 3D моделі в VR

Технології VR та AR знайшли застосування у таких напрямках: (рис. 2.3)



Рис. 2.3 Перспективні напрямки застосування VR модуля

Інтегрування 3D моделі полягає у переході від BIM-моделювання до візуалізації у VR. (рис. 2.4)

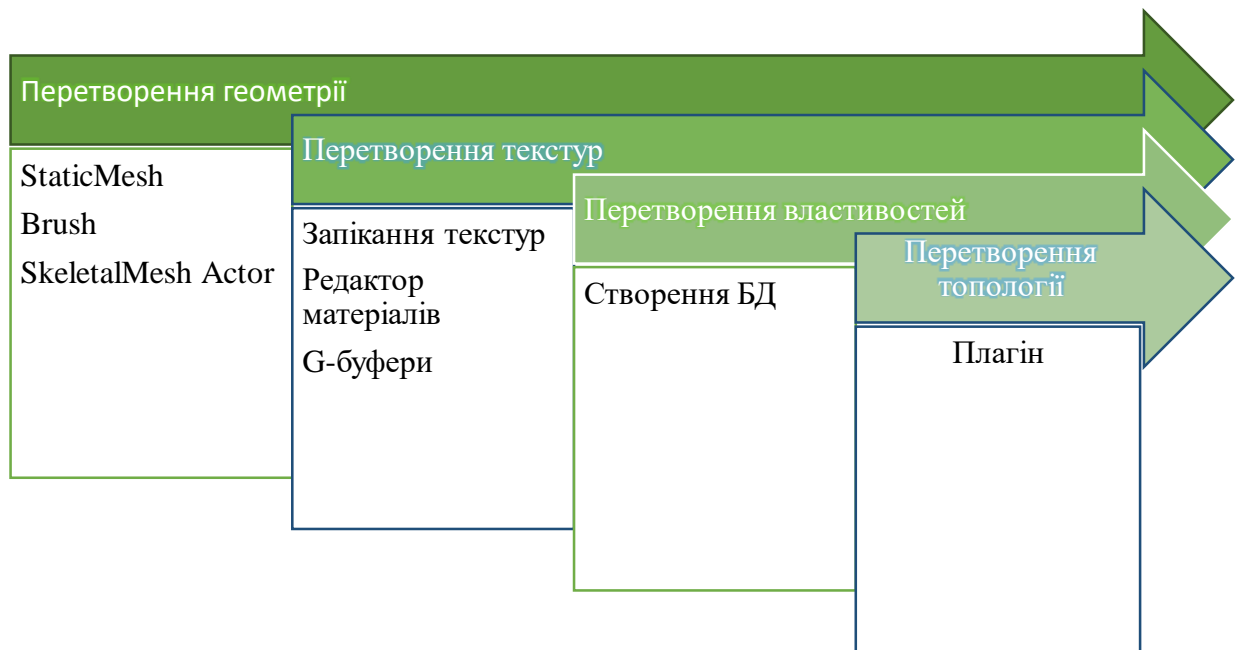


Рис. 2.4 Схема інтегрування 3D моделі в VR

Інтегрування 3D моделі у віртуальне середовище включає в себе перетворення геометрії, властивостей, текстур, топології.

Типи об'єктів, які найчастіше використовуються при розробці сцени на UE4:

StaticMesh -

це простий тип об'єкта, який відображає 3-мірну модель на сцені. Даний об'єкт може переміщатися або змінюватись будь-якими способами в процесі.

Brush -

Об'єкт, що відображає тривимірний та статичний примітив на сцені. Ці об'єкти можуть бути змінені в Редагуванні Геометрії в редакторі рівнів.

SkeletalMesh Actor -

Тип об'єктів, що відображає анімований об'єкт зі скелетом, геометрія якого може бути деформована — в основному через використання анімаційних послідовностей, створених та імпортованих з інших програм для створення 3D-анімації.

Імпорт моделі можна здійснити двома способами. Перший спосіб – звичайний імпорт формату FBX. За допомогою цього формату можна імпортувати не тільки моделі, але й деякі матеріали, які прив'язані до моделі у 3D-редакторі. Другий спосіб – через плагін Datasmith, який встановлюється у ArchiCAD та дає можливість експортувати модель. За допомогою цього інструменту формується новий файл, Datasmith File, окремий від інформаційної моделі. Формат містить не тільки 3D-геометрію, а й параметри об'єктів, які представляють інтерес на подальших етапах процесу передачі даних. Перед експортом є можливість вибору елементів, які потрібно завантажити для подальшої роботи. Таким чином, у файл udatasmith буде завантажено тільки те, що представляє інтерес та відображається на 3D-виді, а не повністю вся модель.

Існує ряд методів, за допомогою яких можна створити геометрію. З точки зору ефективності краще використовувати статичні сітки під час створення геометрії. Тим не менш, оскільки для створення статичних сіток потрібне програмне забезпечення для 3D моделювання, можна використовувати інструменти редагування геометрії, щоб швидко заблокувати рівні для створення прототипів ігрового процесу.

Перетворення текстур містить в собі запікання текстур, редактор матеріалів,

Текстура – растрове зображення, що накладається на поверхню полігональної моделі для надання їй кольору, фарбування або ілюзії рельєфу. Запікання текстур – це коли пакет для створення текстур починає вираховувати кінцевий результат і зберігати його в окремі файли, за допомогою яких фарбується модель в ігровому двигуні. [17]

На відміну від Unreal Engine 3, у 4-й версії все освітлення сцени застосовується відкладеним способом: усі атрибути матеріалів записуються в G-буфери, а потім цикли розрахунку освітлення попіксельно зчитують властивості матеріалів та застосовують до них освітлення. G-буфер – додатковий канал інформації (дані), який можна записати в підсумкову картинку для того, щоб робити з нею надалі необхідні дії. Категорія «Матеріали» відображає всі матеріали, згруповані за елементами. Редактор матеріалів — це графічний інтерфейс на основі вузлів, який дозволяє створювати шейдери, які можна застосувати до вашої геометрії, наприклад, статичні та скелетні сітки, або з іншими системами, такими як Cascade, для створення цікавих матеріалів. Редактор матеріалів можна відкрити, двічі клацнувши будь-який матеріал або за допомогою контекстного меню об'єкта Матеріалу. Під час виконання будь-якої з цих операцій цей конкретний матеріал відкриється в редакторі матеріалів для редагування. Розглянемо основні вузли.

Base color. Базовий колір визначає загальний колір матеріалу, приймаючи значення Vector3 (RGB), коли кожен канал автоматично встановлюється між 0 і 1. Якщо взяти з реального світу, це колір під час фотографування за допомогою поляризаційного фільтра.

The normal використовується карту нормалей, яка використовується для надання значної фізичної деталізації поверхні шляхом порушення "нормалей" або в напрямку кожного окремого пікселя.

Specular. Під час редагування неметалевого матеріалу поверхні іноді необхідно налаштувати його здатність відбивати світло, зокрема, його властивість дзеркала. Щоб оновити дзеркальне значення матеріалу, введіть скалярне значення між 0 (не відбиває) і 1 (повністю відбиває). Зауважте, що значення **Specular** для матеріалу за замовчуванням дорівнює 0,5.

The roughness. Вхідний параметр **Roughness** контролює, наскільки шорсткою або гладкою є поверхня матеріалу. Грубі матеріали розсіюють відбите світло в більшій кількості напрямків, ніж гладкі матеріали, що контролює, наскільки розмитим або різким буде відображення. Шорсткість 0 (гладка) призводить до дзеркального відображення, а шорсткість 1 призводить до розсіяної (або матової) поверхні.

The opacity використовується під час використання напівпрозорого режиму змішування, як правило, для напівпрозорих, адитивних і модульованих матеріалів. Ви можете ввести значення від 0 до 1, де: 0,0 означає повністю прозорий. 1,0 представляє повністю непрозорий. [18]

Перетворення властивостей являє собою створення бази даних. В **Unreal Engine** це відбувається через **DataAsset**. Можна призначити метадані будь-якому об'єкту у проекті **Unreal Engine**, щоб записати інформацію про цей конкретний об'єкт, який вам може знадобитися використати пізніше. Ці метадані являють собою набір ключів, які можна призначити для певних цілей. Наприклад, метадані можуть включати такі відомості, як ім'я проектувальника, передбачуване використання об'єкту вашому проекті або статус в робочому процесі. [19]

Якщо поняття топологія перенести на створення тривимірних об'єктів, то мова йде про правильність побудови кожної деталі. Простіше говорячи, топологія – це процес створення самої моделі. Бажано, щоб модель мала хорошу топологію та полігонаж у розумних межах (якщо говорити про інтер'єри, то основні об'єкти, такі як диван, ліжка та ін. не повинні перевищувати 100 тисяч трикутників, тому що це дуже позначається на продуктивності). Краще, звичайно, робити ретопологію (топологія, проведена

ще раз) кожної моделі вручну, але для досягнення прийняттого результату можна обійтися автоматичними засобами, програмами або плагінами. [20]

Висновок до розділу

Методика тривимірного моделювання включає три загальних етапи від збору даних до візуалізації результату. В залежності від обраного засобу візуалізації, змінюються вимоги до етапу моделювання. У випадку подання результатів у ВР, модель має відповідати певним обов'язковим вимогам.

Алгоритм інтегрування моделі у ВР складається з таких кроків: перетворення геометрії, властивостей, текстур, топології, для кожного визначено оптимальні параметри.

Для створення середовища віртуальної реальності обраний ігровий двигун Unreal Engine 4 (UE4) – прикладний додаток з широким набором інструментів створення віртуального середовища доступний на безкоштовній основі.

РОЗДІЛ 3

**ТРИВИМІРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ АРХІТЕКТУРНОЇ СПОРУДИ
ТА ІНТЕГРАЦІЯ У ВІРТУАЛЬНЕ СЕРЕДОВИЩЕ НА
ПРИКЛАДІ ШКОЛИ В МІСТІ ЛЮЦЕРН**

					ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Виконав		Стадник І.Ю.			Методика 3D моделювання архітектурних споруд для інтегрування віртуального середовища	Літ.	Арк.	Аркушів
.							1	15
Керівник		Горковчук Ю.В.				37		
Зав. каф.		Карпінський Ю.О.				КНУБА, група ГІС-61		

3.1 Дослідне тривимірне моделювання

Комплекс Хіршеграбен (Hirschengraben) – центр спеціалізованих та економічних середніх шкіл в місті Люцерн, Швейцарія. Об'єкт виконаний у класичному стилі. Важлива правильна симетрія, центром фасаду завжди стає відкритий ганок з колонами та напівколонами. По сторонах на однаковій відстані розташовуються віконні отвори. Проектувальники орієнтуються на правило золотого перерізу, тому справжній будинок має ідеальні співвідношення розмірів всіх елементів. На фасаді будівлі присутня об'ємна ліпнина – вона обрамляє віконні отвори, прикрашає центральні частини композиції, димарі тощо.

В якості програмного забезпечення для 3D моделювання обрано Graphisoft ArchiCAD – одне із найкращих рішень у сфері проектування архітектурних об'єктів, в основі якого лежить BIM технологія, яка передбачає застосування спеціальних інструментів. ArchiCAD, на відміну від багатьох інших САПР, розроблених для загальноінженерного застосування, був спроектований спеціально для архітектури та будівельного дизайну. Тому інтерфейс та інструментарій програми являють собою засоби, звичні для архітекторів. Наприклад, в ArchiCAD стіни – це більш, ніж паралельні лінії, вони містять цінну інформацію про конструкцію, матеріали, з яких виготовлена стіна, параметри, зв'язки з іншими елементами будівлі – стінами, підлогою, стелею. Стіни завжди можна зобразити у перспективі, побачити вид збоку, а також отримати специфікацію.

Вихідними даними є хмара точок, отримана як результат лазерного сканування. Хмара точок містить в собі 320 мільйонів точок, вона вже є оброблена, почищена від шумів та завантажена у ArchiCAD. Там моделюється основна геометрія: стіни, стеля, вікна, двері, сходи, балки, колони, ліфтова шахта. В результаті отримуємо високоточну BIM модель. (рис. 3.1)

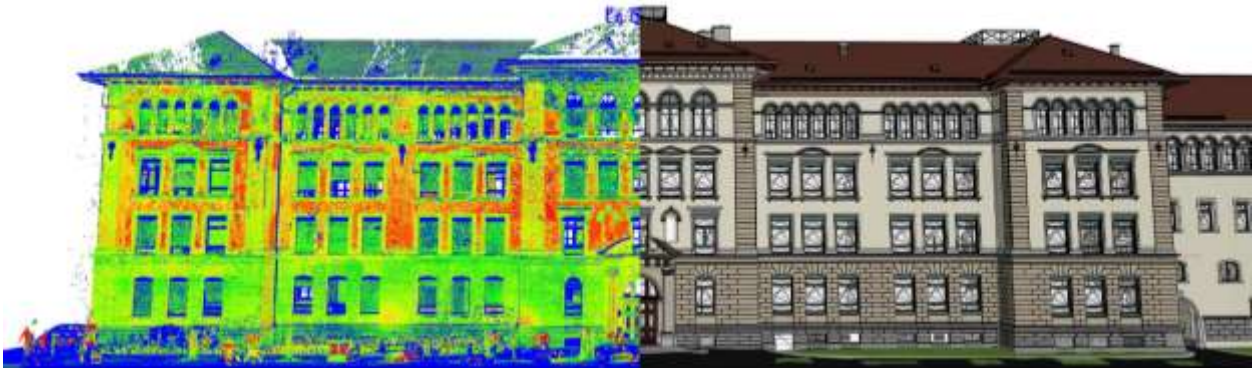


Рис. 3.1 Порівняння хмари точок та готової моделі

Рівень деталізації моделі – LOD 300 (Level Of Development). Це високий рівень деталізації. У загальному випадку рівень деталізації визначає повноту опрацювання елемента інформаційної моделі. Він визначає, яка кількість графічної та атрибутивної інформації потрібна для конкретного елемента інформаційної моделі на певному етапі її розвитку. Цей рівень часто обирають до роботи з історичними об'єктами та складними фасадами. Також цей рівень деталізації передбачає нанесення текстур. Приклади фасадів наведені на рис. 3.2 та рис. 3.3. [21]

Останнім етапом є генерування сцени із 3D об'єкта у 2D сцену. Використовуючи 3D модель в якості еталона і переводячи її в 2D растрове зображення, можна уникнути проблем із тривимірною глибиною сцени. Дане перетворення необхідно виконувати після того, як зміни положення 3D моделі, режим рендерингу, текстур чи джерел світла більше не потребується. Створюється візуалізоване 2D зображення, яке можна масштабувати і трансформувати. [22], [23]



Рис. 3.2 Передній фасад будівлі



Рис. 3.3 Західний фасад будівлі

Текстура матеріалів є файлами зображень, що приєднуються до покриття, для надання їм реалістичного вигляду. Також є можливість додати нові матеріали з бібліотек або ж дублювати існуючий та змінити колір. У пакеті ArchiCAD додано багато різноманітних бібліотек, які можна використовувати у вільному доступі. Оскільки це вже готові матеріали, тому вони потребують мінімального налаштування. (рис. 3.4)

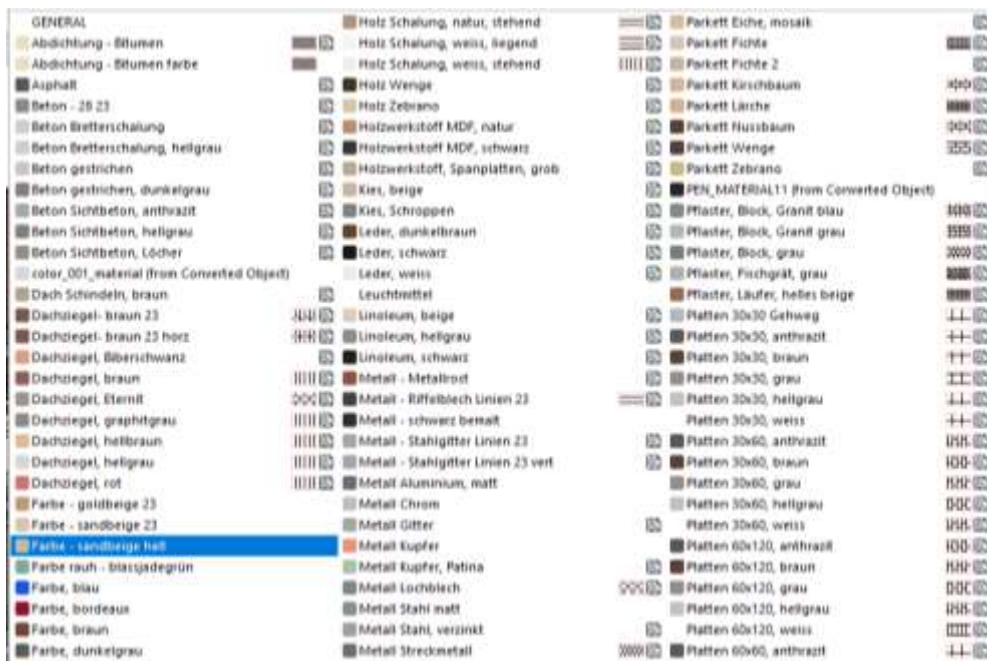


Рис. 3.4 Вибір матеріалів у ArchiCAD 23

Розробка проекту завершується випуском проектної документації, основу якої складають креслення, оформлені відповідно до прийнятих стандартів та оформлені макети. Для полегшення роботи з оформлення креслень ArchiCAD надає користувачеві необхідний інструментарій. Нанесення розмірів – одна з найбільш трудомістких робіт процесу оформлення креслень, також вноситься текстова інформація, елементи оформлення креслень, рівні на планах поверху (піднесення щодо нульової позначки проекту). Також на план проекту наносяться зони, в яких вказується номер та назва кімнати, її загальна площа, відмітка підлоги та стелі. Існують категорії зон, які мають свій певний колір. Кінцевим етапом є переведення креслень у формат PDF та виведення на друк. [24]

Щоб здійснити візуалізацію, обране віртуальне середовище. Для цього, вибраний формат моделі завантажується в Unreal Engine через плагін Datasmith – відмінний імпортер із багатьох 3D-додатків у Unreal Engine.

3.2 Інтегрування 3D моделі у віртуальне середовище засобами Unreal Engine

Після імпорту 3D моделі в Unreal Engine через плагін Datasmith можна починати роботу безпосередньо з налаштування візуалізації моделі. Datasmith безпосередньо транслює сцену, включаючи джерела світла, камери, матеріали та геометрію, зберігаючи при цьому звичну ієрархію сцен. [25]

Для текстуризації об'єктів використовується такий інструментарій:

В якості освітлення створюється Sky Light для основного джерела світла та Point Light для імітації світильників. (рис. 3.5) [26]

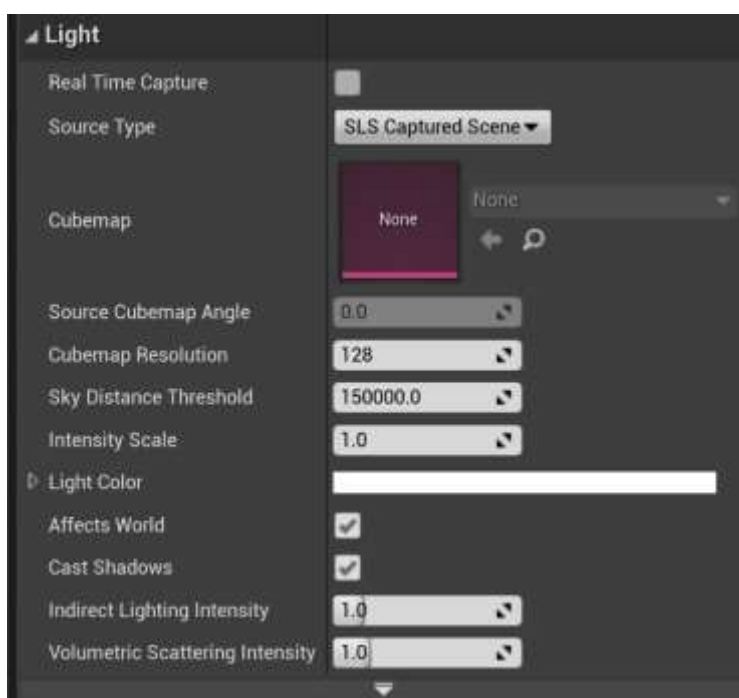


Рис. 3.5 Налаштування Sky Light

Для того, щоб продемонструвати модель у візуально насиченому контексті, використовують високий динамічний діапазон (HDR). Основні переваги використання фону полягають в тому, що його відносно швидко налаштовують, він може забезпечити чудове освітлення та відображення. (рис. 3.6) [27]



Рис. 3.6 Налаштування фону

Основним кроком є налаштування матеріалів, необхідно зайти в меню Textures та відкрити Material Editor. Unreal Engine створює базовий матеріал без кольору, однак існує багато нодів для підключення. Основні вузли: Base Color, Roughness, Opacity, Specular, Normal (описані в пункті 2.2). (рис. 3.7)

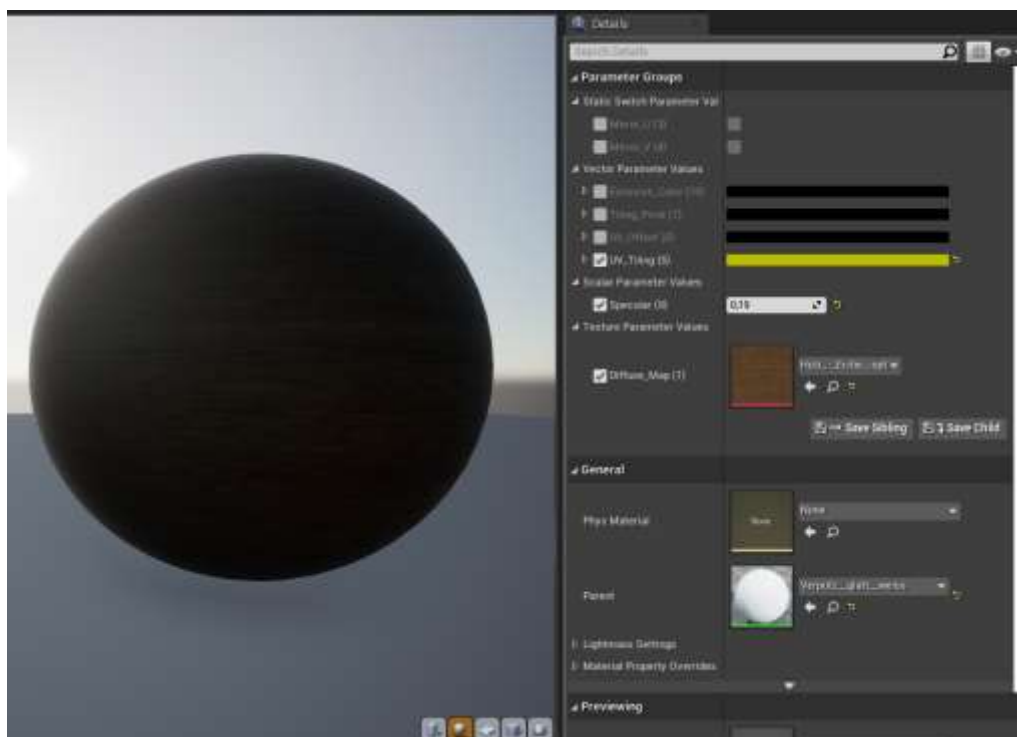


Рис. 3.7 Основні параметри матеріалу

Substance Painter – програма для процедурного текстурування. Крім текстурування, в ній можна запікати карти: Ambient Occlusion, Normal map, Curvature, ID, World Space Normal, Position та Thickness. [28]

Для перетворення властивостей, створюється база даних DataAsset, але в даній роботі можна обійти цей момент, адже основна мета – показати геометрію об’єкту, тому атрибутика тут не так важлива. В наступних абзацах описані етапи створення кінематографічного ролику.

Одним із методів, за допомогою яких створюють плавні, чіткі знімки, є використання камерних установок, до яких приєднується камера. У Unreal Engine можна використовувати платформи Rail і Crane для створення реалістичних рухів камери. Camera Rig Rail використовується для симуляції системи, яка використовується для створення знімків відстеження. Довжину та кривизну колії можна змінити відповідно до потреб.

Camera Rig Rail використовує сплайни Blueprint Engine від Unreal Engine для визначення довжини та форми своєї колії. За замовчуванням рейка використовує лінійні точки сплайну на початку та в кінці колії. Ці точки можна

вибирати та переміщувати, щоб налаштувати довжину та напрямок доріжки.
[29] (рис. 3.8)



Рис. 3.8 Приклад постановки Camera Rail

Sequences – асети, які можна розміщувати на рівнях, як акторів, що містять ключові кадри анімаційних Tracks. Панель інструментів Sequencer містить різні команди, інструменти та параметри. Master Sequence – майстер, який створює Sequence з декількома sub-sequences. Також він створює різні Sequence Assets і зберігає їх в спеціальному місці в Content Directory. Коли створюється Master Sequence, з'являється вікно Sequencer, яке показує всі доріжки Sequences, розташовані в ряд. [30] (рис. 3.9)

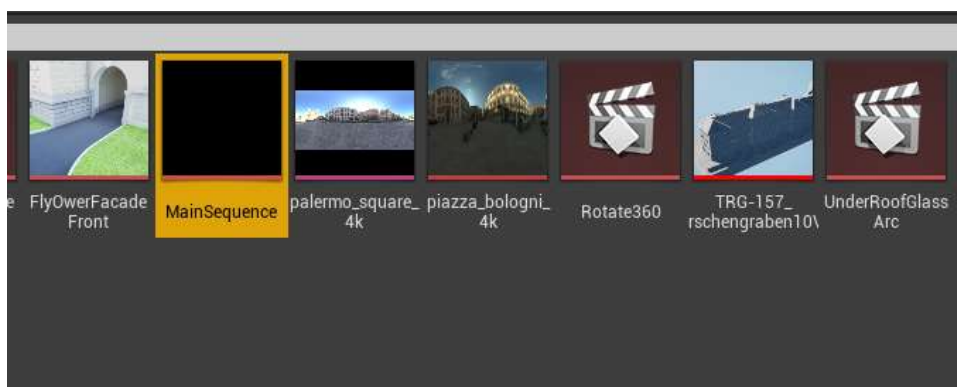


Рис. 3.9 Content Directory

Область часової шкали містить усю відтворювану область вашої послідовності, включаючи анімації, ключові кадри та елементи керування

шкалою часу. Діапазон відтворення послідовності міститься в маркерах Початок (зелений) і Кінець (червоний). (рис. 3.10)



Рис. 3.10 Діапазон відтворення послідовності

Cine Camera Actor — це спеціалізована камера з додатковими налаштуваннями, яка повторює поведінку кінокамери в реальному світі. В кожному з кадрів Sequences, Cine Camera Actor з'являється динамічно в Sequence і знищується, коли Sequence завершується. Ця особливість по-справжньому потужна і означає, що не потрібно розмішувати одного Camera Actor на вашому рівні, так як вони створюються і знищуються на льоту в сіквенсорі. Ці камери відображають налаштування об'єктиву, глибину різкості і налаштування фокусу, як і всі доступні ефекти постпроцесінгу, дозволяючи налаштувати кожен камеру, як це потрібно. [31] (рис. 3.11)



Рис. 3.11 Приклад Cine Camera Actor у проекті

Sequencer дає можливість рендерити «кінематографічний ролик» у форматі фото чи відео. Можна візуалізувати зображення у форматі файлів BMP, EXR, JPG чи PNG. Також можна виконувати користувацькі проходи візуалізації, щоб відобразити такі речі, як базовий колір, глибина сцени, поверхневий колір. [32] (рис. 3.12 - 3.13)

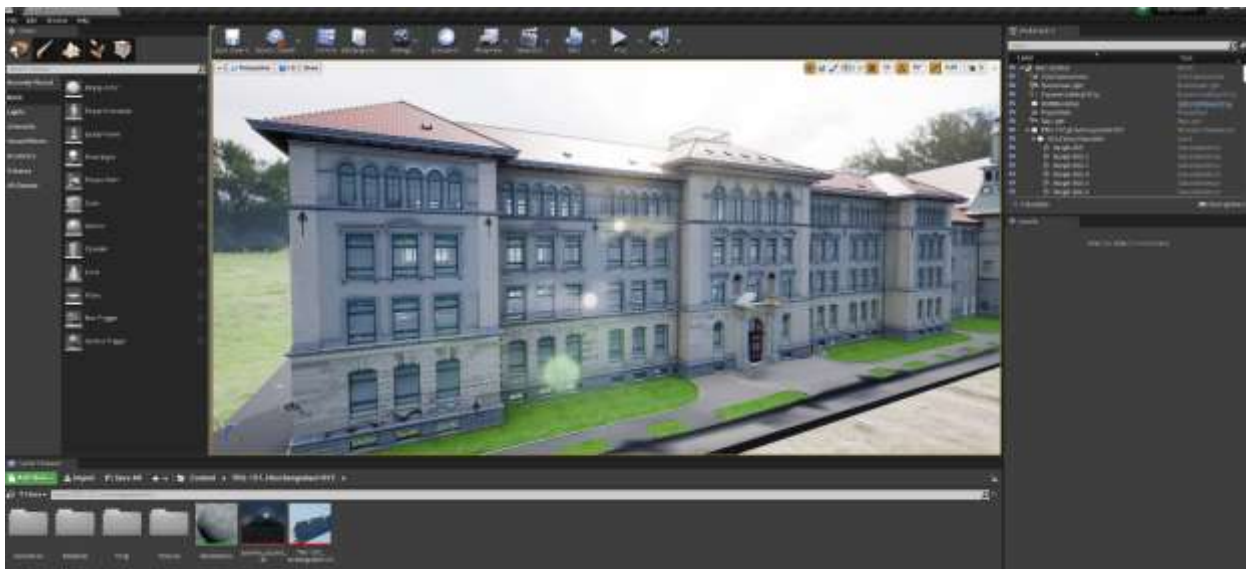


Рис. 3.12 Результат рендеру



Рис. 3.13 Результат рендеру

3.3 Аналіз проблем методики 3D моделювання архітектурних споруд для інтегрування в VR

Щоб досягти найкращої продуктивності під час виконання, Unreal Engine відбирає деякі трикутники, які не буде видно. Однак деякі програми для проектування не проводять однакової різниці між передньою та задньою гранями поверхні та можуть відображати поверхні незалежно від того, з якого боку ви їх переглядаєте. Це може призвести до створення плоскої одностінної геометрії взагалі без будь-якої товщини. Після імпорту сцени це може призвести до того, що деякі частини сцени стануть невидимими під час перегляду під певними кутами в двигуні Unreal. Це навіть може виглядати так, ніби ці частини моделі не були імпортовані. Однак існує ймовірність того, що їх нормалі поверхні спрямовані у бік камери, яку ви використовуєте для перегляду сцени. Якщо повернутися навколо моделі, можна виявити, що ці поверхні раптово з'являться. Але ця проблема не торкнулась моєї дослідної роботи, так як завданням було лише показати зовнішні фасади та саму геометрію без зальоту всередину. (рис. 3.14-3.15)

Найкращий спосіб справитись з цією ситуацією – використати вихідну програму. Всі об'єкти необхідно моделювати з товщиною, коли їх потрібно побачити з усіх боків, і переконатися, що нормалі звернені назовні. Якщо ви знаєте, що об'єкт потрібно буде розглядати лише з одного боку, ви можете виправити відсутню сітку, перевернувши нормаль поверхні у вихідній програмі та повторно імпортуючи сцену. Деякі програми моделювання, такі як Rhino, 3ds Max, Cinema 4D і SketchUp, пропонують режими перегляду, які полегшують пошук трикутників, звернених назад.

Однак, якщо потрібно вирішити проблему в Unreal Editor, не повертаючись до вихідної програми, також можна розглянути наступний варіант:

- Потрібно зробити матеріал двостороннім у редакторі матеріалів. Це змушує двигун відображати поверхню, коли її видно з будь-якого боку.

Хоча це рішення має тенденцію створювати візуальні артефакти при використанні зі статичним або стаціонарним освітленням, оскільки обидві сторони поверхні будуть використовувати однаковий простір у текстурі карти світла. [33]



Рис. 3.14 Відсутність внутрішніх об'єктів будинку



Рис. 3.15 Відсутність внутрішніх об'єктів будинку

Ще одна проблема, з якою довелось стикнутись під час імпорту 3D моделі – деякі фасадні елементи над вікнами опинилися не на своєму місці. Тому довелось перетягувати їх вручну. (рис. 3.16)



Рис. 3.16 Фасадні елементи

В цілому, проект завантажився в Unreal Engine без особливих проблем, всі матеріали, текстури, вся геометрія та топологія зберігається.

Простота і ефективність Unreal Engine – полягає не тільки в ефективному рендері, а й у зручності та швидкості роботи та у можливостях, які двигун дає не тільки для використання в іграх або у віртуальному продакшні. Двигун має величезну кількість інструментів для створення сучасних ігор різного жанру з фото-реалістичною картинкою, причому не вимагаючи знання мов програмування. Буквально за день, маючи готову 3D-сцену, можна підготувати її, експортувати, призначити матеріали та зробити рендер презентації. Відео рахується за лічені секунди, швидкість прорахунку випереджає швидкість відтворення самого відео.

Віртуальна реальність використовується для підвищення ефективності навчання та залучення учасників процесу. VR-освіта може змінити подачу контенту, оскільки працює за принципом створення віртуального світу – реального чи уявного – і дозволяє користувачам як бачити його, а й взаємодіяти з ним, тому ця методика є дуже ефективною. [34]

Висновок до розділу

Результатом дослідного моделювання за запропонованою методикою є тривимірна модель архітектурної споруди на вулиці Hirschengraben в місті Люцерн з такими параметрами: площею 3126 м², 10600 елементів, рівнем деталізації LOD300, атрибутами. Інтеграція геометрії та текстур у VR виконано із застосуванням плагіну Datasmith.

Незважаючи на загальний успішний результат інтегрування, слід зазначити певні труднощі, що потребують доопрацювання в подальшому, зокрема: імпортувались не усі об'єкти, внутрішня частина будівлі взагалі виявилась пустою, а деякі елементи літають у просторі. Виправлення таких недоліків імпортування моделі в VR залишається ручним, а відповідно трудомісткім процесом.

РОЗДІЛ 4. Економіка і охорона праці

Складений кошторис до всіх вид робіт:

№	Вид робіт	Обсяг	Одиниця	Розцінка	Індекс		Вартість, одиниця	Кошторисна вартість
1	Планова та висотна прив'язка точок	40	точка	4,8	16,038	K2*K13	76,98	3 079,2 грн
2	Наземне лазерне сканування	35	станція	82	16,038	K2*K13	1 315,116	46 029,06 грн
Всього польові роботи								49 108,26 грн
3	Зшивка, аналіз та обробка даних лазерного сканування	250	скан	6,5	7,77		50,505	12 626,25 грн
4	Розробка 3D моделі об'єкту	1	3D модель	1000	50			50 000 грн
5	Розробка проектної документації :							
6	Плани	2 500	м.кв	4,5	19,737036	K2*K11* K12*K13	88,81666	222 041,65 грн
7	Фасади	1 250	м.кв	4,5	19,737036	K2*K11* K12*K13	88,81666	111 020,825 грн
8	Інтегрування BIM-моделі у віртуальне середовище в Unreal Engine 4							25 000 грн*
Всього камеральні роботи								420 688,725 грн
Витрати на внутрішній транспорт							5%*1,25	275,45 грн
Витрати за несприятливий період року							8,30%	365,80 грн
Витрати на організаційно-ліквідаційні заходи							6%	264,43 грн
Витрати на метрологічне забезпечення							5%	220,36 грн
Всього								470 923,025 грн
ПДВ								4784,47
Всього з ПДВ								475 707,495 грн

*Взята середня зарплата роботи в Unreal Engine 4 з work.ua

Примітка: Кошторис складено згідно:

1. Збірника цін на вишукувальні роботи для капітального будівництва (Москва, 1982 р.) з доповненням до нього (Постанова Держбуду СРСР №22 від 01.03.1990р
2. ДСТУ Б Д.1.1-7:2013. Правила визначення вартості проектно-вишукувальних робіт та експертизи проектної документації на будівництво.

Робота на об'єкті зайняла 2 дні. В перший же день проводився інструктаж бригади інженерів по техніці безпеки і рекогностування об'єкта. В ході рекогностування були вибрані місця установки лазерного сканера і електронного тахеометра, який був необхідний для геодезичної прив'язки моделі. В другий день було виконано 3D-сканування об'єкта. Для роботи було використано сканер FARO Focus3D S 350 HDR - це високошвидкісний 3D-сканер з дуже великою дальністю дії. Він може сканувати об'єкти на відстані до 350 метрів навіть під прямими сонячними променями, забезпечуючи реалістичні і точні результати сканування.

Всесвітня організація охорони здоров'я розділила небезпеку лазерів на три групи, виходячи з можливого отримання травм при їх використанні:

1. Небезпека, яка фактично походить від лазера;
2. Виробниче середовище, в якому застосовується лазер;
3. Персонал, який обслуговує лазер, і персонал, який може опромінюватися генерованим ним лазерним випромінюванням.

Головними вимогами до експлуатації лазерних пристроїв є:

- На кожній лазерній установці має бути вказівка про застосування захисних фільтрів для очей;
- На корпусі лазера обов'язково повинен бути зазначений клас небезпеки пристрою;
- Лазерний промінь повинен бути обмежений необхідною для роботи довжиною;
- Поверхні, що відбивають, на шляху проходження променя повинні бути закриті;
- Не можна залишати працюючий лазер без спостереження;
- Засоби захисту від випромінювань необхідно регулярно піддавати перевіркам випробовуванням, відповідно до вимог стандартів.

Розробка архітектурної візуалізації здебільш проводиться у офісних приміщеннях. Електрична мережа такого приміщення має такі характеристики: трифазна чотирипровідна мережа напругою 380/220 В

змінного струму, частота 50 Гц, з глухозаземленою нейтраллю. Такі приміщення відносяться до приміщень без підвищеної небезпеки враження людей електричним струмом згідно з НПАОП 40.1-1.21-98. Усі розетки мають напис «220 В». З кожним робітником проводяться інструктажі з охорони праці відповідно до НПАОП 0.00-4.12-05 які включають у себе первинний повторний та позаплановий інструктаж. З метою запобігання ушкодженням, що можуть статися через ураження електричним струмом, загоряння, коротке замикання тощо, розроблено загальний стандарт безпеки ІЕС 950. В приміщенні встановлюється аварійний резервний вимикач, який повністю вимкає електричне живлення приміщення, крім освітлення.

Під час роботи з ПК (обробка даних, створення 3D моделі) на людину можуть впливати такі шкідливі та небезпечні фактори:

Фізичні:

- Електричний струм;
- Підвищений шум;
- Недостатність освітлення;
- Підвищений рівень відображеної яскравості монітора.

Психологічні:

- Надмірна напруга уваги;
- Посилене навантаження на зір;
- Підвищена відповідальність.

Під час виконання завдання засоби індивідуального захисту не потрібні. Одяг та взуття мають бути зручними, за сезоном, не приносити дискомфорт. У день початку виконання завдання, вивчити зміст інструкції по техніці безпеки. Перевірити придатність інструменту та обладнання візуальним оглядом.

Висновки

Згідно першого розділу саме етап візуалізації потребує новітніх підходів до подання результатів – інструментів і засобів візуалізації різних типів моделей незалежно від їх точності, ступеня деталізації, засобів створення. Найкращим способом візуалізації змодельованого об'єкта сьогодні є застосування імерсійних технологій. В роботі розглянуто візуалізацію тривимірної BIM-моделі у віртуальному середовищі на основі використання інструменту Unreal Engine як типової задачі інтеграції змодельованих архітектурних споруд у VR.

Методика тривимірного моделювання, яка розглядається у другому розділі, включає три загальних етапи від збору даних до візуалізації результату. Алгоритм інтегрування моделі у VR складається з таких кроків: перетворення геометрії, властивостей, текстур, топології, для кожного визначено оптимальні параметри. Для створення середовища віртуальної реальності обраний ігровий двигун Unreal Engine 4 (UE4).

Результатом дослідного моделювання за запропонованою методикою є високоточна BIM модель архітектурної споруди. Незважаючи на загальний успішний результат інтегрування, слід зазначити певні труднощі, що потребують доопрацювання в подальшому, зокрема: Незважаючи на загальний успішний результат інтегрування, слід зазначити певні труднощі, що потребують доопрацювання в подальшому, зокрема: імпортувались не усі елементи будівлі, внутрішня частина взагалі виявилась пустою, а деякі елементи літають у просторі. Виправлення таких недоліків імпортування моделі в VR залишається ручним, а відповідно трудомістким процесом.

Таким чином, запропонована методика інтегрування тривимірних моделей в віртуальне середовище є уніфікованим методом візуалізації результатів високоточного моделювання для підвищення ефективності прийняття рішень на всіх етапах життєвого циклу будівлі, в тому числі при реалізації концепції будівельного інформаційного моделювання.

Подальші дослідження мають бути направлені на удосконалення всіх етапів моделювання з урахуванням вимог віртуального середовища та розроблення автоматизованих засобів їх перевірки у вигляді додаткових надбудов і модулів до програмних засобів.

Список літератури

1. 3D моделювання. URL: https://informatika.udpu.edu.ua/?page_id=5855
(дата звернення 01.09.2021)
2. Ю.В. Горковчук. 3D GIS. Створення та візуалізація 3D даних. КНУБА, 2020
3. BIM. Испытание на прочность. URL: <https://www.comnews.ru/content/212032/2020-12-14/2020-w51/bim-ispytanie-prochnost> (дата звернення 03.09.2021)
4. Куда нас погружают иммерсивные технологии. URL: <https://habr.com/ru/company/vtb/blog/463707/> (дата звернення 06.09.2021)
5. Вигаданий світ: українські проекти у VR та AR. URL: <https://creativeeurope.in.ua/posts/ukrainian-projects-vr-ar> (дата звернення 06.09.2021)
6. 9 сфер применения виртуальной реальности: размеры рынка и перспективы. URL: <https://vc.ru/flood/13837-vr-use> (дата звернення 09.09.2021)
7. ESRI CityEngine. 3D моделирование. URL: <https://www.esri-cis.ru/ru-ru/arcgis/products/esri-cityengine/features> (дата звернення 15.09.2021)
8. Візуалізація в Archicad. URL: <https://uk.soringprepair.com/visualization-in-archicad/> (дата звернення 15.09.2021)
9. Лучшая в отрасли визуализация с использованием V-Ray для Autodesk Revit. URL: <https://sapr.ru/article/25526> (дата звернення 15.09.2021)
10. Unreal Engine Datasmith. URL: <https://dtf.ru/unrealengine/184047-unreal-engine-datasmith-dostupno-s-ue4-24> (дата звернення 01.10.2021)
11. Лазерное сканирование. URL: <https://aero3d.com.ua/3d-i-lazernoe-skanirovanie/> (дата звернення 05.10.2021)

12. Обработка данных с лидарных сканеров. URL: <https://blogs.3ds.com/russia/data-processing-geovia-surpac/> (дата звращения 05.10.2021)
13. BIM-моделирование: создание информационных BIM-моделей. URL: https://www.pss.spb.ru/BIM_service/BIM-models/ (дата звращения 06.10.2021)
14. Разработка CAD моделей. URL: <https://3d-services.ru/3d-modelirovanie/razrabotka-cad-modelej/> (дата звращения 06.10.2021)
15. Благодаря BIM-технологиям можно достичь единой концепции города. URL: <https://saga-development.com.ua/ru/publications/interviews/mykola-kovlev-zavdyaky-bim-tehnologiyam-mozhna-dosyagty-yedynoyi-kontseptsiiyi-mista/> (дата звращения 06.10.2021)
16. Требования проекта в Unreal Engine. URL: <https://sites.google.com/site/vbdubrava/content-design/modeling-rules> (дата звращения 08.10.2021)
17. Часть 4. Модели, нормали и развертка. URL: <https://habr.com/ru/post/458988/> (дата звращения 06.10.2021)
18. Material Nodes. URL: <https://docs.unrealengine.com/4.27/en-US/Resources/ContentExamples/MaterialNodes/> (дата звращения 15.10.2021)
19. Asset Metadata. URL: <https://docs.unrealengine.com/4.27/en-US/Basics/AssetsAndPackages/AssetMetadata/> (дата звращения 06.10.2021)
20. ПОЛЕЗНЫЙ САЙТ ДЛЯ 3D-ХУДОЖНИКОВ С ТОПОЛОГИЕЙ РАЗНЫХ ОБЪЕКТОВ. URL: <https://saga-development.com.ua/ru/publications/interviews/mykola-kovlev-zavdyaky-bim-tehnologiyam-mozhna-dosyagty-yedynoyi-kontseptsiiyi-mista/>
21. Уровни детализации элементов информационной модели здания. URL: https://isicad.ru/ru/articles.php?article_num=17329 (дата звращения 18.10.2021)

22. КАК ИНТЕГРИРОВАТЬ 3D-ОБЪЕКТ В 2D-СЦЕНУ. URL: <https://multtov.net.ua/article/kak-integriruvat-3d-v-2d-toon-boom.html> (дата звернення 18.10.2021)
23. Объединение 3D-объектов. URL: <https://helpx.adobe.com/ru/photoshop/using/combining-converting-3d-objects.html> (дата звернення 18.10.2021)
24. Т.Ф. Ельчищева. Подготовка архитекторов в виртуальной среде 3D моделирования. – Тамбов, 2015. 146-154 с.
25. ВОСЕМЬ СОВЕТОВ ДЛЯ БОЛЕЕ БЫСТРОЙ РАБОТЫ В UNREAL ENGINE 4. URL: <https://3djobs.ru/vosem-sovetov-dlja-bolee-bystroj-raboty-v-unreal-engine-4/>
26. Sky Light. URL: <https://docs.unrealengine.com/4.27/en-US/BuildingWorlds/LightingAndShadows/LightTypes/SkyLight/> (дата звернення 23.10.2021)
27. HDRI Backdrop. URL: <https://docs.unrealengine.com/4.27/en-US/BuildingWorlds/LightingAndShadows/HDRIBackdrop/> (дата звернення 24.10.2021)
28. Запекание карт нормалей. URL: <https://dtf.ru/u/224873-artcraft-school/623471-zapekanie-kart-normaly-substance-painter-vs-marmoset> (дата звернення 24.10.2021)
29. Camera Rig Rail. URL: <https://docs.unrealengine.com/4.27/en-US/AnimatingObjects/Sequencer/Cameras/CameraRigRail/> (дата звернення 24.10.2021)
30. Sequencer Basics. URL: <https://docs.unrealengine.com/4.27/en-US/AnimatingObjects/Sequencer/QuickStart/> (дата звернення 24.10.2021)
31. Cine Camera Actor. URL: <https://docs.unrealengine.com/4.27/en-US/AnimatingObjects/Sequencer/Cameras/CineCameraActors/> (дата звернення 29.10.2021)

32. Render Movie. URL: <https://docs.unrealengine.com/4.27/en-US/AnimatingObjects/Sequencer/Overview/RenderMovieSettings/> (дата звернення 29.10.2021)
33. FBX Import Errors. URL: <https://docs.unrealengine.com/4.27/en-US/WorkingWithContent/Importing/FBX/FbxErrors/> (дата звернення 02.11.2021)
34. VR изменит всё, к чему мы привыкли. Как технологии виртуальной реальности трансформируют процесс обучения. URL: https://talk-on.ru/materials/talkovosti/VR_izmenit_vsye_k_chemu_my_privykli_Kak_tekhnologii_virtualnoy_realnosti_transformiruyut_protsess_ob/ (дата звернення 10.11.2021)

ДОДАТКИ

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ		
Виконав		Стадник І.Ю.			Літ.	Арк.	Аркушів
						1	12
Керівник		Горковчук Ю.В.			КНУБА, група ГІС-61		
Зав. каф.		Карпінський Ю.О.					
					63		
					Методика 3D моделювання архітектурних споруд для інтегрування віртуального середовищ		

