

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя
(повне найменування вищого навчального закладу)
Факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії
(назва факультету)
Кафедра комп'ютерних наук
(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на здобуття освітнього ступеня

Магістр
(назва освітнього ступеня)
на тему: Оптимізація масштабних імерсивних занурень при їх реалізації на Unreal Engine 5

Виконав: студент	6	курсу, групи	СТм-61
спеціальності	126 Інформаційні системи та технології		
	(шифр і назва спеціальності)		
		Ожанський С.І.	
	(підпис)	(прізвище та ініціали)	
Керівник		проф. Матійчук Л.П.	
	(підпис)	(прізвище та ініціали)	
Нормоконтроль		доц. Дуда О.М.	
	(підпис)	(прізвище та ініціали)	
Завідувач кафедри		доц. Боднарчук І.О.	
	(підпис)	(прізвище та ініціали)	
Рецензент			
	(підпис)	(прізвище та ініціали)	

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя
Факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії
(повна назва факультету)
Кафедра комп'ютерних наук
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
доц. Боднарчук І.О.
(підпис) (прізвище та ініціали)
« 17 » 11 2025 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня магістр
(назва освітнього ступеня)
за спеціальністю 126 Інформаційні системи та технології
(шифр і назва спеціальності)
студенту Ожанському Степану Ігоровичу

1. Тема роботи Оптимізація масштабних імерсивних занурень
при їх реалізації на Unreal Engine 5
Керівник роботи Матійчук Любомир Павлович, д.е.н, проф. каф. КН
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
Затверджені наказом по університету від « 27 » листопада 2025 року № 4/7-1040
2. Термін подання студентом роботи 16.12.2025
3. Вихідні дані до роботи наукові літературні джерела

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)
1 Аналіз предметної області.
2. Теоретична частина.
3. Практична реалізація
4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)
1. Тема роботи. 2. Актуальність дослідження. 3. Мета, задачі, об'єкт, предмет дослідження
4. Наукова новизна, практичне значення роботи, апробація. 5. Характеристики та вимоги
масштабних імерсивних занурень 6. Вплив основних функцій Ureal Engine 5 на імерсивне
занурення. 7. Використовувані технології Ureal Engine 5.
8. Налаштування системи LOD на 3D-моделі. 9. Налаштування системи HLOD
10, 11. Використання технології Nanite
12. Плагін для генерації напівоктаедричних імпортів.
13. Використання програмного рішення на практиці.
14. Порівняння методів оптимізації. 15. Основні результати дослідження.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Сенчишин В.С., доцент каф. МТ		
Безпека в надзвичайних ситуаціях	Теслюк В.М., проректор з АГРБ		

7. Дата видачі завдання 17.11.2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Затвердження теми кваліфікаційної роботи	27.11.25	Виконано
2	Аналіз літературних джерел	28.11.25–30.11.25	Виконано
3	Обґрунтування актуальності дослідження	01.12.25–03.12.25	Виконано
4	Аналіз предмету дослідження та предметної області	04.12.25–06.12.25	Виконано
5	Проведення дослідження методів та засобів аналітичного опрацювання даних	07.12.25–08.12.25	Виконано
6	Оформлення розділу «Аналіз предметної області»	09.12.25–10.12.25	Виконано
7	Оформлення розділу «Теоретична частина»	12.12.25–13.12.25	Виконано
8	Оформлення розділу «Практична реалізація»	13.12.25–14.12.25	Виконано
9	Оформлення розділу «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях»	15.12.25–16.12.25	Виконано
10	Нормоконтроль	15.12.25–17.12.25	Виконано
11	Перевірка на плагіат	15.12.25–17.12.25	Виконано
12	Попередній захист роботи	15.12.25	Виконано
13	Захист кваліфікаційної роботи	23.12.25	

Студент

(підпис)

Ожанський С.І.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Матійчук Л.П.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Оптимізація масштабних імерсивних занурень при їх реалізації на Unreal Engine 5 // Кваліфікаційна робота освітнього рівня «Магістр» // Ожанський Степан Ігорович // Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, факультет комп'ютерно-інформаційних систем та програмної інженерії, кафедра комп'ютерних наук, група СТм-61 // Тернопіль, 2025 // С. – 71, рис. – 29, табл.– 2, слайдів – 15, додат. – 1, бібліогр. – 31.

Ключові слова: віртуальна реальність, доповнена реальність, імерсивні технології, LOD, Nanite, Unreal Engine 5

Перший розділ присвячений визначенню поняття "масштабні імерсивні занурення", огляду можливостей Unreal Engine 5, а також аналізу існуючих проектів і демонстрацій з масштабним імерсивним зануренням, створеним на Unreal Engine 5. Це є теоретичним підґрунтям для вивчення методів оптимізації у подальшому.

У другому розділі представлено теоретичне обґрунтування та опис методів оптимізації. Розглядаються різні технології та підходи до оптимізації, включаючи новітні розробки, які раніше не використовувалися. Розділ надає теоретичну основу, необхідну для розуміння та реалізації практичної частини роботи, а також описує інструменти та програми, що застосовуються.

Третій розділ присвячений практичній реалізації запропонованих методів оптимізації. Представлені результати тестів розроблених методів оптимізації для наочної демонстрації технологій, що розглядаються. Особлива увага приділена практичному застосуванню описуваних методів для досягнення високої продуктивності в масштабних додатках іммерсії на Unreal Engine 5.

Обговорено результати реалізації, аналіз проведеної роботи, досягнення в оптимізації та їх ефективність. Наведено оцінку свого рішення та порівняння з аналогічними методами.

ANNOTATION

Optimizing large-scale immersive experiences when implementing them on Unreal Engine 5 // Ozhanskyi Stepan // Ternopil Ivan Pul'uj National Technical University, Faculty of Computer Information Systems and Software Engineering, Department of Computer Science, STm-61 group // Ternopil, 2025 // P. - 71, Fig. - 29, Table – 2, Slide - 15, References - 31.

Keywords: virtual reality, augmented reality, immersive technologies, LOD, Nanite, Unreal Engine 5

The first chapter is devoted to the definition of the concept of "large-scale immersive immersion", an overview of the capabilities of Unreal Engine 5, as well as an analysis of existing projects and demonstrations with large-scale immersive immersion created on Unreal Engine 5. This is a theoretical basis for studying optimization methods in the future..

The second chapter presents the theoretical justification and description of optimization methods. Various technologies and approaches to optimization are considered, including the latest developments that have not been used before. The section provides the theoretical foundation necessary for understanding and implementing the practical part of the work, and also describes the tools and programs used.

The third chapter is devoted to the practical implementation of the proposed optimization methods. The results of tests of the developed optimization methods are presented for a visual demonstration of the technologies under consideration. Special attention is paid to the practical application of the described methods to achieve high performance in large-scale immersion applications on Unreal Engine 5.

The implementation results, analysis of the work performed, achievements in optimization and their effectiveness are discussed. An assessment of our solution and comparison with similar methods are given.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

3D-модель – цифрове представлення об'єкта в тривимірному просторі, створене за допомогою спеціальних програм для візуалізації.

AAA –пайплайн – гослідовність розробки 3D-моделей у великих студіях, що означає A lot of time (багато часу); A lot of resources (багато ресурсів); A lot of money (багато грошей).

AR (Augmented Reality) – доповнена реальність.

HLOD (Hierarchical Level of Detail – ієрархічний рівень деталізації) – метод оптимізації продуктивності, який об'єднує кілька детальних сіток в одну, простішу "проксі" сітку на відстані.

LOD (Level of Detail – рівень деталізації) – метод оптимізації, що змінює складність моделі залежно від відстані до глядача, зменшуючи її для віддалених об'єктів, щоб знизити навантаження на систему.

Lumen – система глобального динамічного освітлення та відображення у Unreal Engine 5.

Nanite – технологія Unreal Engine 5 для ефективного відображення високополігональних об'єктів на екрані.

UE 5 (Unreal Engine 5) – потужний рушій для створення ігор та застосунків.

VR (Virtual Reality) – доповнена реальність.

Імерсивні технології – технології повного або часткового занурення у віртуальний світ або різні види змішання реальної і віртуальної реальності.

III – штучний інтелект.

ЗМІСТ

Вступ.....	8
1 Аналіз предметної області.....	11
1.1 Визначення поняття "масштабні імерсивні занурення"	11
1.2 Unreal Engine 5.....	13
1.3 Аналіз існуючих проектів із масштабним імерсивним зануренням, реалізованих на UE 5.....	16
1.3.1 Lumen in the Land of Nanite	17
1.3.2 The Matrix Awakens: An UE 5 Experience	19
1.3.3 Electric Dreams Environment.....	21
1.4 Висновки до першого розділу.....	22
2 Теоретична частина.....	24
2.1 LOD.....	24
2.2 Білборди	27
2.3 HLOD.....	28
2.4 Nanite	30
2.4.1 Переваги Nanite над LOD.....	30
2.4.2 Зміни у процесі створення 3D-моделей з приходом Nanite і фотограмметрії	33
2.5 Висновки до другого розділу.....	35
3 Практична реалізація	36
3.1 Налаштування системи LOD на 3D-моделі.....	36
3.2 Налаштування HLOD.....	38
3.3 Використання технології Nanite	41
3.4 Напівоктаедричні імпостери	45
3.4.1 Опис роботи програмного рішення.....	45
3.4.2 Використання програмного рішення на практиці	49
3.5 Обговорення результатів	51
3.6 Висновки до третього розділу	52

4 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.....	53
4.1 Закордонний досвід організації охорони праці в ІТ-компаніях.....	53
4.2 Оцінка дії електромагнітного імпульсу на елементи комп'ютерної системи.	57
4.3 Висновки до четвертого розділу.....	60
Висновки	61
Перелік джерел	62
Додатки	

ВСТУП

Актуальність теми. Імерсивні медіа включають технології та враження, які створюють відчуття повного занурення та присутності користувача у VR або AR.

У 2024 році глобальний ринок імерсивних медіа досяг позначки 36,7 мільярда доларів США [1]. За прогнозами, до 2032 року його обсяг становитиме 178,7 мільярда доларів США, за середньорічного зростання. Зростанню ринку сприяють зростаюча доступність пристроїв та технологій AR і VR [2], досягнення в галузі імерсивних технологій і попит на імерсивні враження в багатьох галузях. Ці технології пропонують не тільки захоплюючий ігровий процес, але й покращені можливості для навчання та розвитку у різних сферах, таких як бізнес, мистецтво, медицина, археологія та інші. Важливим аспектом використання VR є наближення віртуальних об'єктів до реальних. Це забезпечує більш привабливий досвід, що запам'ятовується для користувачів.

Створення високоякісних імерсивних середовищ із фотореалістичною графікою потребує величезних обчислювальних ресурсів. Розробка масштабних віртуальних світів, здатних плавно працювати на різноманітному устаткуванні, стає дедалі складнішим завданням.

Одним з провідних інструментів для створення таких програм є ігровий рушій UE 5 від Epic Games. Нова версія цієї платформи надає передові технології візуалізації, включаючи Lumen для динамічного освітлення і Nanite для роботи з високодеталізованою геометрією [3]. Однак для ефективного використання цих та інших можливостей потрібні глибокі знання архітектури рушія та методів оптимізації продуктивності.

Мета дослідження: дослідити та розробити методи для досягнення максимальної оптимізації масштабних імерсивних занурень при реалізації на UE.

Для досягнення мети, в роботі поставлено та розв'язано **такі задачі:**

- вивчити існуючі методи оптимізації продуктивності UE 5;
- розробити та реалізувати на практиці методи оптимізації, спрямовані

на підвищення продуктивності та зниження вимог до ресурсів без істотної втрати якості візуалізації;

- провести оцінку ефективності запропонованих методів оптимізації на прикладі прототипу UE 5;
- сформулювати рекомендації щодо застосування розроблених методів оптимізації для створення масштабних імерсивних додатків на UE 5.

Об’єкт дослідження: процес розробки проектів із масштабним імерсивним зануренням на UE 5.

Предмет дослідження: методи оптимізації масштабних імерсивних занурень під час розробки UE 5.

Наукова новизна роботи:

- розроблено генератор напівоктаедричних імпостерів у UE 5 для покращення якості візуалізації віддалених об’єктів і їх оптимізації за рахунок значного зменшення числа полігонів.

Практичне значення одержаних результатів. Імплементація досліджених і розроблених оптимізаційних методів можлива у розважальних проектах, віртуальному туризмі, архітектурній візуалізації, різних симуляторах (військових і цивільних), освітніх та культурних застосунках.

Апробація. Окремі результати роботи були представлені на наукових конференціях як опубліковані тези:

1. Ожанський С.І. Масштабні імерсивні занурення // Інформаційні моделі, системи та технології: Праці XIII наук.-техн. конф. Тернопіль, 17-18 грудня 2025 р. с. 69.
2. Ожанський С.І. Можливості Unreal Engine 5 для створення імерсивних середовищ // Інформаційні моделі, системи та технології: Праці XIII наук.-техн. конф. Тернопіль, 17-18 грудня 2025 р. с. 70.

1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

1.1 Визначення поняття "масштабні імерсивні занурення"

Масштабні імерсивні занурення (immersive experiences) - це великі віртуальні світи, які створюють ілюзію повного занурення користувача в альтернативну реальність. Вони характеризуються високим ступенем деталізації, інтерактивністю та реалістичністю, що часто реалізуються за допомогою сучасних технологій VR та ігрового рушія, зокрема UE 5.

Масштабні імерсивні занурення, зі свого боку, відносяться до створення великих, надзвичайно деталізованих та комплексних віртуальних світів, які потребують значних обчислювальних ресурсів для забезпечення високого рівня реалізму та безперешкодної взаємодії [4].

Ключові характеристики таких проектів наведені нижче.

Високий ступінь реалістичності:

- використання передових графічних технологій для створення фотореалістичних зображень;
- просунуті технології освітлення та тіней, такі як Lumen.

Інтерактивність та динамічна взаємодія:

- можливість користувачам взаємодіяти з об'єктами та персонажами у реальному часі;
- реалізація фізики та анімації, що дозволяють створити відчуття природного руху та взаємодії.

Широкомасштабні віртуальні світи:

- створення великих відкритих світів із високим ступенем деталізації;
- оптимізація та стримінг контенту для підтримки продуктивності на високому рівні.

Інноваційні інтерфейси користувача (UI):

- інтуїтивно зрозумілі та зручні для користувача інтерфейси;
- використання жестів, голосових команд та інших методів введення

взаємодії.

Розраховані на багато користувачів і соціальні аспекти:

- можливість спільної взаємодії та спілкування з іншими користувачами у віртуальному просторі;

- створення соціально-орієнтованих сценаріїв та подій.

Необхідно навести вимоги до масштабних імерсивних занурень.

Продуктивність та оптимізація:

- ефективне використання ресурсів апаратного забезпечення;
- оптимізація графіки та коду для забезпечення плавної роботи без затримок та збоїв.

Якість контенту:

- висока якість моделей, текстур та анімацій;
- створення різноманітного та деталізованого контенту для повного занурення.

Сумісність та доступність:

- підтримка різних платформ та пристроїв;
- врахування особливостей різних пристроїв та забезпечення комфортного використання на всіх підтримуваних платформах.

Безпека та конфіденційність:

- забезпечення захисту користувачів;
- запобігання потенційним загрозам безпеці у віртуальному просторі.

Досвід користувача (UX):

- забезпечення інтуїтивно зрозумілого та захоплюючого користувацького досвіду;
- регулярне тестування та покращення інтерфейсів та взаємодій на основі відгуків користувачів.

Масштабні імерсивні занурення вимагають колосальних зусиль для їх створення та оптимізації. Вони знаходять застосування у різних галузях, включаючи AAA-ігри, віртуальний туризм, архітектурну візуалізацію, військові та цивільні симулятори, а також у розважальних, освітніх та культурних

проектах. Їхня головна мета - забезпечити безпрецедентний рівень реалізму та занурення користувачів у створені віртуальні світи [5].

1.2 Unreal Engine 5

UE 5 - це нова версія знаменитого ігрового рушія, розробленого Epic Games. Випущений у 2021 році, UE5 пропонує безліч інноваційних технологій, які роблять його одним із найпотужніших і гнучкіших інструментів для створення ігор та інших інтерактивних програм.

Переваги UE 5 такі.

Висока якість графіки:

- Nanite. Технологія віртуалізованої геометрії дозволяє створювати високодеталізовані сцени з мільйонами полігонів без значних втрат продуктивності;
- Lumen. Система глобального висвітлення у реальному часі, що забезпечує реалістичне висвітлення та відображення.

Продуктивність та оптимізація:

- нова система збирання даних. Покращена обробка даних та ассетів дозволяє швидше завантажувати та обробляти великі обсяги даних;
- процедурне створення контенту. Можливість автоматизації та генерації ігрових світів та рівнів.

Інструменти та робочі процеси:

- Metasounds. Система аудіо, що надає повний контроль над створенням та редагуванням звуків;
- Animation Motion Warping. Покращені інструменти для анімації, що забезпечують більш плавні та реалістичні рухи персонажів.

Підтримка нових технологій:

- повна підтримка створення контенту для VR / AR;
- інтеграція з Quixel Megascans. Доступ до величезної бібліотеки високоякісних 3D -сканів для використання у проектах;

– застосування штучного інтелекту на основі системи Behavior Tree (рис. 1.1). Надає можливості легкого створення достатньо складаних поведінкових сценаріїв.

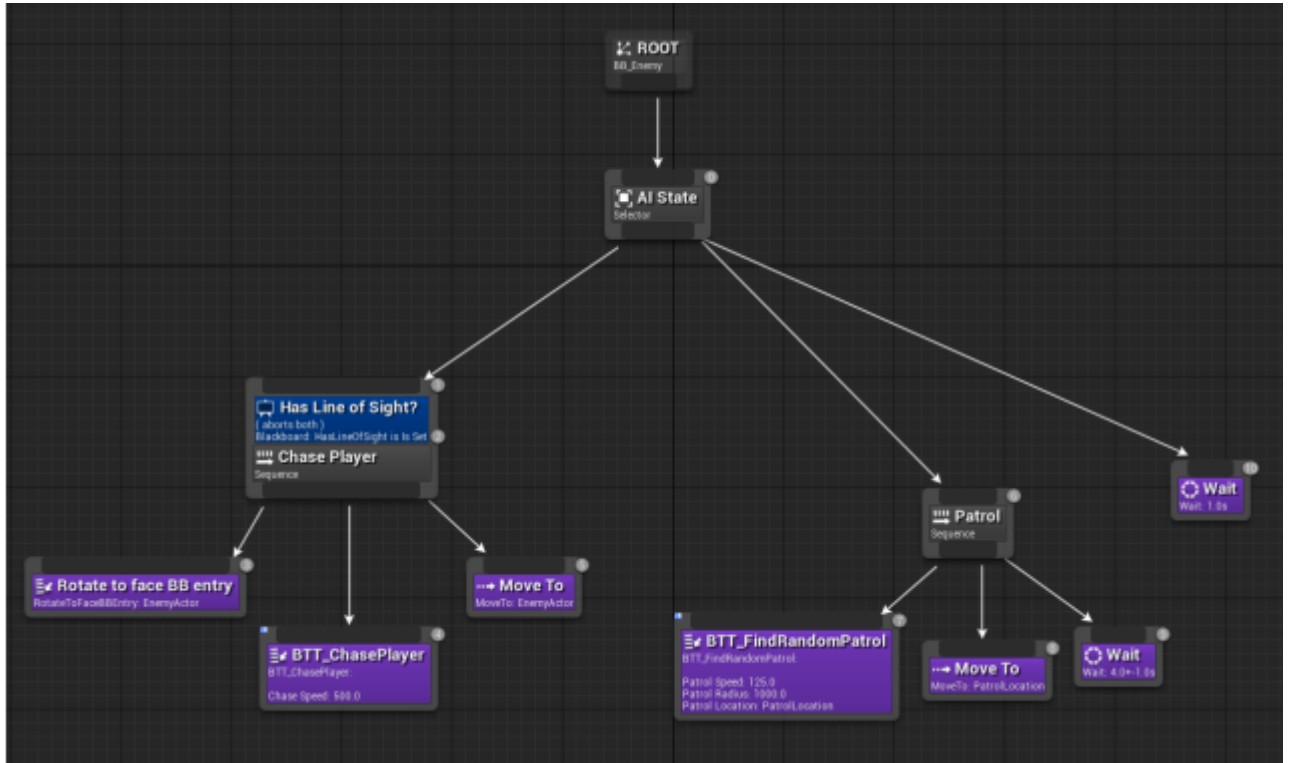


Рисунок 1.1 – Behavior Tree

Відкритість і доступність:

- Blueprints. Візуальне програмування (рис. 1.2), , що дозволяє будувати складні ігрові механіки не пишучи код (робить UE 5 доступнішим для художників, аніматорів та фахівців суміжних спеціальностей і професій);
- C++ API. Для більш просунутих користувачів, забезпечуючи повний контроль та кастомізацію.



Рисунок 1.2 – Приклад логіки класу в Blueprints

Можливості UE 5:

- створення масштабних ігрових світів. Використання процедурних інструментів для створення великих відкритих просторів і міст;
- імерсивні VR/AR досліди. Оптимізація продуктивності для створення занурень у VR/AR;
- кросплатформова технологія. Підтримка безлічі платформ, включаючи ПК, консолі, мобільні пристрої та Інтернет;
- фотореалістична візуалізація. Використання можливостей Nanite та Lumen для досягнення кінематографічної якості графіки;
- інтерактивні симуляції та візуалізації. Застосування в архітектурі, дизайні, навчанні, автомобільних технологіях, медицина, телебачення та інших галузях.

Завдяки інноваційним технологіям рендерингу, розвиненим інструментам розробки, мультиплатформній підтримці та відкритості, UE 5 забезпечує створення вражаючих імерсивних середовищ з високою деталізацією та продуктивністю навіть у масштабних проектах [6].

Хоча основні технології UE 5 пропонують технічні досягнення, їхній вплив на імерсивне відтворення сюжетів виходить за рамки візуальної точності. У табл. 1.1 підсумовано, як власне кожна технологія безпосередньо вирішує проблеми або створює можливості в імерсивному зануренні, виходячи за рамки стандартних технічних описів [7].

Таблиця 1.1 - Вплив основних функцій UE 5 на імерсивне занурення

Технологія	Вирішені проблеми	Можливості
Nanite	Зменшує проблеми з продуктивністю, спричинені високополігональними ресурсами у відкритому світі, усуваючи необхідність ручного створення LOD	Забезпечує деталізацію кінематографічного рівня в інтерактивних середовищах без шкоди для продуктивності в реальному часі, що забезпечує багатше візуальне сприйняття сюжету
Lumen	Долає обмеження статичного освітлення в динамічних середовищах, забезпечуючи глобальне освітлення в режимі реального часу без попередньо запеченого освітлення	Забезпечує динамічні зміни настрою та техніки оповіді на основі освітлення, посилюючи драматичну напругу та навколишнє середовище сюжету
Віртуальна карта тіней	Виправляє артефакти тіней та мерехтіння у великомасштабних сценах, забезпечуючи м'які тіні з високою роздільною здатністю	Покращує сприйняття глибини та занурення в атмосферу, підсилюючи візуальні підказки, що спрямовують оповідний фокус
MetaHuman Creator	Усуває технічні бар'єри для створення високоякісних персонажів, які раніше вимагали складних робочих процесів з риггінгу та анімації обличчя	Дає змогу створювати емоційно виразні персонажі, що є критично важливим для інтерактивних оповідань та віртуальних вистав.

1.3 Аналіз існуючих проєктів із масштабним імерсивним зануренням, реалізованих на UE 5

На момент поточного дослідження існує не так багато проєктів з повномасштабним імерсивним зануренням, які були повністю розроблені та

випущені на UE 5, в першу чергу тому, що ця версія рушія є відносно новою. Проте існує низка яскравих демо-проектів, які розкривають потенціал UE5 для створення масштабних імерсивних світів.

1.3.1 Lumen in the Land of Nanite

Це технічний демо-проект від Epic Games, що демонструє нові візуальні можливості рушія UE5 [8]. Він представляє дві революційні технології - Lumen та Nanite.

Lumen – це повністю динамічна система глобального освітлення у реальному часі. Вона забезпечує неймовірно реалістичне та фізично коректне освітлення сцени, включаючи ефекти кольорових відблисків, точне змішування кольорів, відображення та заломлення світла. Lumen автоматично обчислює світло, освітлюючи оточення найбільш природним чином.

Nanite – технологія віртуальної геометрії, що дозволяє рендерити мільярди полігонів без втрати продуктивності. Це дозволяє створювати об'єкти оточення з безпрецедентним рівнем деталізації.

У демо ці дві технології об'єднані для візуалізації неймовірно реалістичної статичної сцени з кам'яними статуями колосального розміру. Nanite дозволяє відобразити найдрібніші тріщини та нерівності поверхні, а Lumen забезпечує точне освітлення з усіма світловими ефектами (рис. 1.1):



Рисунок 1.1 – Lumen in the Land of Nanite

Плюси:

1. Демонструє неймовірну деталізацію об'єктів завдяки технології Nanite.
2. Показує реалістичне глобальне освітлення з точними розрахунками відблисків та заломлень завдяки Lumen.
3. Наочно представляє потенціал UE5 для створення фотореалістичних віртуальних світів.
4. Служить прикладом для розробників ігор і додатків нового покоління.

Мінуси:

1. Це статична демо-сцена, що не показує продуктивність динамічної ігрової ситуації.
2. Для досягнення такої якості потрібні високі апаратні ресурси, що обмежує коло платформ.
3. Чи не демонструє інші можливості UE5.
4. Чи не інтерактивна, просто будучи технічною демонстрацією візуальних технологій.

5. Не надає даних щодо реального впливу на продуктивність при додаванні більшої кількості об'єктів.

Виходячи з цього можна зробити висновок, що Lumen in the Land of Nanite є приголомшливою технічною демонстрацією візуальних можливостей UE5 з фотореалістичним освітленням та геометрією. Це вражаючий зразок того, що чекає на розробників ігор і додатків наступного покоління. Однак демо має обмеження щодо аналізу продуктивності в динамічних ситуаціях і не показує всі межі потенціалу UE5. Проте вона задає високу планку фотореалізму для майбутніх проектів.

1.3.2 The Matrix Awakens: An UE 5 Experience

Це амбітна технічна демонстрація, створена Епіс Games у співпраці з Warner Bros. для просування фільму "Матриця: Воскресіння" [9, 10]. Вона вражаюче демонструє потенціал UE5 у створенні масштабних імерсивних віртуальних міст із неймовірним рівнем деталізації та високою продуктивністю (рис. 1.2):



Рисунок 1.2 – The Matrix Awakens: An UE 5 Experience

Плюси:

1. **Неймовірна деталізація відкритого світу.** Демо відтворює величезне, інтерактивне місто із щільною забудовою, транспортом та пішоходами. Будинки, транспортні засоби та персонажі мають приголомшливий рівень деталізації.
2. **Передова візуалізація.** Демонстрація використовує найсучасніші технології візуалізації UE5, такі як рейтрейсинг, сучасні системи освітлення та фізично достовірні матеріали. Результатом є феноменально-реалістичне місто.
3. **Складні системи ШІ.** У демо реалізовані просунуті системи ШІ, що управляють поведінкою натовпів людей і транспортних засобів у масштабах цілого міста, створюючи відчуття живого, динамічного світу.
4. **Висока продуктивність.** Незважаючи на неймовірний рівень деталізації, демо здатна працювати з високою частотою кадрів навіть на відносно старому устаткуванні завдяки оптимізаціям UE5.

Мінуси:

1. **Обмежений ігровий процес.** Хоча світ і інтерактивний, проте демо не пропонує глибокого ігрового процесу чи сюжету. Це насамперед технічна демонстрація візуальних можливостей.
2. **Необхідність потужного заліза.** Для максимальної візуальної якості та плавної роботи демо потрібна дуже продуктивна апаратна конфігурація, особливо для рейтрейсингу.
3. **Відсутність мультиплеєра.** Незважаючи на масштабний відкритий світ, демо не підтримує розрахований на багато користувачів режим, що обмежує її імерсивний потенціал.

Виходячи з усього перерахованого вище можна зробити висновок, що "The Matrix Awakens: An UE 5 Experience" - це приголомшлива демонстрація технологічних можливостей UE 5. Вона показує, що рушій здатний створювати неймовірно деталізовані і реалістичні світи з високою продуктивністю. Хоча демо має деякі обмеження, вона доводить, що UE5 готовий до реалізації наступного покоління масштабних імерсивних проектів з безпрецедентним

рівнем занурення. Це надихаючий приклад того, що на нас чекає в майбутньому від індустрії VR та інтерактивних додатків.

1.3.3 Electric Dreams Environment

Ще одна технологічна демонстрація, представлена Epic Games на заході State of Unreal у 2023 році. Цей проект показує потенціал UE 5 у процедурній генерації реалістичних джунглів та тропічних лісів (рис. 1.3) [11].



Рисунок 1.3 – Electric Dreams Environment

Плюси:

1. Процедурна генерація. Демонстрація використовує передові алгоритми процедурної генерації для створення безшовного, нескінченно масштабованого середовища джунглів. Це дозволяє створювати величезні, безперервні віртуальні ландшафти з мінімальними витратами на ручну роботу.
2. Неймовірна щільність та різноманітність рослинності. Згенеровані джунглі відрізняються приголомшливою щільністю та різноманітністю рослинності, включаючи дерева, кущі, ліани та трави різних видів.

3. Фотореалістична візуалізація. Демо показує фотореалістичний рендеринг рослинності та навколишнього середовища з використанням передових технологій освітлення, трасування променів та рендерингу в реальному часі у UE5.

4. Складні системи фізики. Представлені реалістичні фізичні симуляції, такі як взаємодія рослин з об'єктами, деформація рослинності та поведінка листя на вітрі.

5. Потенціал для нескінченної різноманітності. Завдяки процедурній генерації кожне нове створення джунглів буде унікальним, забезпечуючи нескінченну різноманітність віртуальних ландшафтів.

Мінуси:

1. Відсутність інтерактивності. Як і в попередніх демо, цей проект зосереджений на візуалізації та не демонструє інтерактивності чи ігрового процесу.

2. Немає додаткового контенту. Демонстрація фокусується лише на генерації рослинного оточення, не показуючи інших елементів.

3. Невідома продуктивність. Хоча демо виглядає вражаюче, незрозуміло, яке обладнання потрібне для такої плавної роботи.

Висновок: Electric Dreams Environment є захоплюючою демонстрацією потенціалу технологій процедурної генерації в UE 5. Здатність створювати нескінченно масштабовані, щільні та реалістичні джунглі відкриває нові горизонти для розробників відкритих світів. Ця демо показує, що UE5 дозволяє значно скоротити витрати часу та ресурсів на створення ландшафтів без шкоди для якості візуалізації.

1.4 Висновки до першого розділу

У цьому розділі дано визначення поняття "масштабні імерсивні занурення", здійснено огляд основних можливостей UE 5, проаналізовано наявні проекти та демонстрації із масштабним імерсивним зануренням, побудовані на UE 5.

Наведені приклади надихають на створення інноваційних підходів до проектування величезних відкритих світів, де традиційні методи ручної роботи з контентом можуть бути неефективними. Процедурна генерація у поєднанні з передовою графікою UE5 може кардинально змінити способи створення масштабних імерсивних світів у майбутньому.

Однак для повноцінної реалізації досі потрібні додаткові елементи, такі як інтерактивність, ігровий процес та інші системи для забезпечення комплексного занурення користувачів.

2 ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

2.1 LOD

З розвитком технологій і збільшенням потужності графічних процесорів стає можливим створювати все більш реалістичні та деталізовані віртуальні світи. Однак для забезпечення плавного та якісного ігрового досвіду необхідно враховувати безліч факторів, пов'язаних із оптимізацією. Одним із ключових інструментів для підвищення продуктивності є технологія LOD. У цій частині розглядаються застосування LOD у контексті розробки на UE 5, його принципи, переваги та недоліки, а також рекомендації щодо використання для різних типів об'єктів.

LOD - це техніка, що використовується в 3D- графіці для зменшення кількості полігонів, що обробляється графічним процесором, залежно від відстані до камери. Основна ідея полягає в тому, що об'єкти, що знаходяться далі від камери, можуть відображатися з меншою деталізацією без помітного погіршення візуальної якості (рис. 2.1) [12, 13].



Рисунок 2.1 – LOD

Основні компоненти LOD наведені нижче.

LOD -рівні. Декілька версій одного і того ж об'єкта, що різняться за кількістю полігонів та деталізації. У UE 5 можна створити максимум 8 рівнів деталізації, від самої деталізованої моделі до найспрощенішої, але зазвичай використовують 3-5 рівнів залежно від розміру та важливості 3D -моделі на сцені. LOD -рівні можна автоматично створювати в рушії від вихідної моделі, шляхом відсоткового скорочення кількості полігонів, але такий спосіб не завжди видає необхідний результат, тому доводиться вручну створювати в сторонніх додатках (Maya, Blender та інші);

Порогові значення. Відстані або інші метрики, що визначають, коли використовувати той чи інший LOD -рівень.

Перемикання LOD. Процес зміни моделі на менш деталізовану або навпаки залежно від поточних умов.

Використання LOD має безліч переваг, особливо в контексті масштабних та насичених сцен у UE 5:

- підвищення продуктивності. За рахунок зменшення кількості оброблюваних полігонів на віддалених об'єктах знижується навантаження на графічний процесор, що дозволяє підтримувати вищий і стабільніший FPS;
- ефективне використання ресурсів. LOD дає змогу в оптимальному режимі застосовувати обмежені ресурси графічного процесора, зосереджуючи їх на об'єктах, які мають найбільший візуальний вплив;
- поліпшення завантаження сцени. Найменша кількість даних для обробки дозволяє прискорити завантаження та рендеринг сцени.

Незважаючи на свої переваги, технологія LOD має деякі недоліки

- візуальні артефакти. При неправильному налаштуванні порогових значень або використанні невідповідних LOD -рівнів можуть виникати візуальні артефакти, такі як об'єкти, що стрибають, при перемиканні між рівнями деталізації;
- додаткові ресурси пам'яті. Для кожного рівня деталізації потрібна додаткова пам'ять для зберігання геометричних даних, що може призвести до

збільшення пам'яті в масштабних проектах;

- додаткова робота для художників. Створення кількох версій одного об'єкта потребує додаткових витрат з боку 3D-художників;
- складність налаштування. Правильне налаштування LOD -системи вимагає ретельного підходу та тестування для досягнення оптимального балансу між якістю та продуктивністю.

LOD -система дуже добре показує себе на об'єктах, яких багато в сцені, наприклад: трава, кущі, дерева, каміння, скелі та інші об'єкти навколишнього середовища, де оптимізація кожного елемента значно знижує загальне навантаження.

Не всі об'єкти у сцені потребують використання LOD. LOD менш ефективний на дуже дрібних об'єктах, які не займають значного місця в сцені і не вимагають високого рівня деталізації, а також на об'єктах, які є центральними елементами ігрового досвіду або мають високий ступінь деталізації, рекомендується використовувати меншу кількість рівнів деталізації або відмовитися від LOD, щоб зберегти високу якість візуалізації.

Технологія LOD є потужним інструментом для оптимізації масштабних імерсивних сцен у UE 5. Вона дозволяє значно підвищити продуктивність та знизити навантаження на систему, зберігаючи при цьому візуальну якість. Тим не менш, її застосування вимагає ретельного налаштування та розумного підходу, щоб уникнути візуальних артефактів та додаткових трудовитрат.

LOD особливо корисний для статичних об'єктів, які є у великих кількостях. Однак для дрібних та інтерактивних об'єктів застосування LOD може бути менш ефективним або навіть контрпродуктивним.

Правильне використання LOD у поєднанні з іншими методами оптимізації дозволяє створювати вражаючі та плавні імерсивні світи, забезпечуючи гравцям високий рівень якості та реалізму.

2.2 Білборди

Білборди (Billboards) - це техніка в комп'ютерній графіці, коли двомірне зображення (текстура) завжди звернене обличчям до камери. У UE 5 білборди часто використовуються для відображення об'єктів, що знаходяться на великій відстані від камери, де деталі тривимірної моделі стають невиразними.

Використання білбордів дозволяє значно скоротити кількість полігонів, необхідних для рендерингу сцени. Замість промальовування складних моделей на далеких відстанях, рушій відображає спрощені двовимірні зображення, що знижує навантаження на процесор та відеокарту.

На найдаальших відстанях замість моделі можна використовувати білборди як останній рівень деталізації (LOD3, LOD4 і т.д.) (рис. 2.2). Це значно покращує продуктивність, оскільки для рендерингу використовується лише один полігон і текстура.



Рисунок 2.2 – Використання білбордів як LOD-рівня

Варто навести переваги використання білбордів.

Продуктивність. Істотне зменшення кількості полігонів для рендерингу, що знижує навантаження на GPU

Зниження споживання пам'яті. Використання білбордів дозволяє істотно

знизити обсяг використовуваної відеопам'яті, оскільки двовимірні текстури та полігони займають значно менше місця, ніж тривимірні моделі та текстури з високою деталізацією. Це найбільш потрібно для мобільних пристроїв і засобів із недостатніми ресурсами.

Прискорення завантаження. Скорочення обсягу даних, що потрібні для рендерингу сцен, також веде до скорочення часу завантаження гри або програми. Це підвищує комфорт користувачів та робить імерсивні занурення більш плавними та приємними.

Поряд з тим наявні і недоліки:

- якість. Втрата деталізації та якості візуалізації;
- обмеження. Не підходить для об'єктів, які мають виглядати деталізованими за будь-якої відстані;
- переходи між LOD -рівнями. Перехід між LOD і білбордами може бути помітним і викликати артефакти. Це вимагає додаткової роботи, щоб уникнути візуальних дефектів.

Використання білбордів у поєднанні із системою LOD – це ефективна методика для оптимізації масштабних імерсивних занурень у UE 5. Вона дозволяє покращити продуктивність без значних втрат у візуальній якості при правильному налаштуванні та використанні.

2.3 HLOD

Використовується для оптимізації рендерингу складних сцен у реальному часі. В іграх та інтерактивних додатках кількість об'єктів, які потрібно малювати, може бути величезною, що значно навантажує відеокарту та процесор. HLOD дозволяє об'єднувати безліч дрібних об'єктів в один великий на далеких відстанях, що суттєво знижує кількість об'єктів для рендерингу (рис. 2.3) [14 -16]. Це особливо важливо для великих відкритих світів, де гравець може бачити великі відстані.

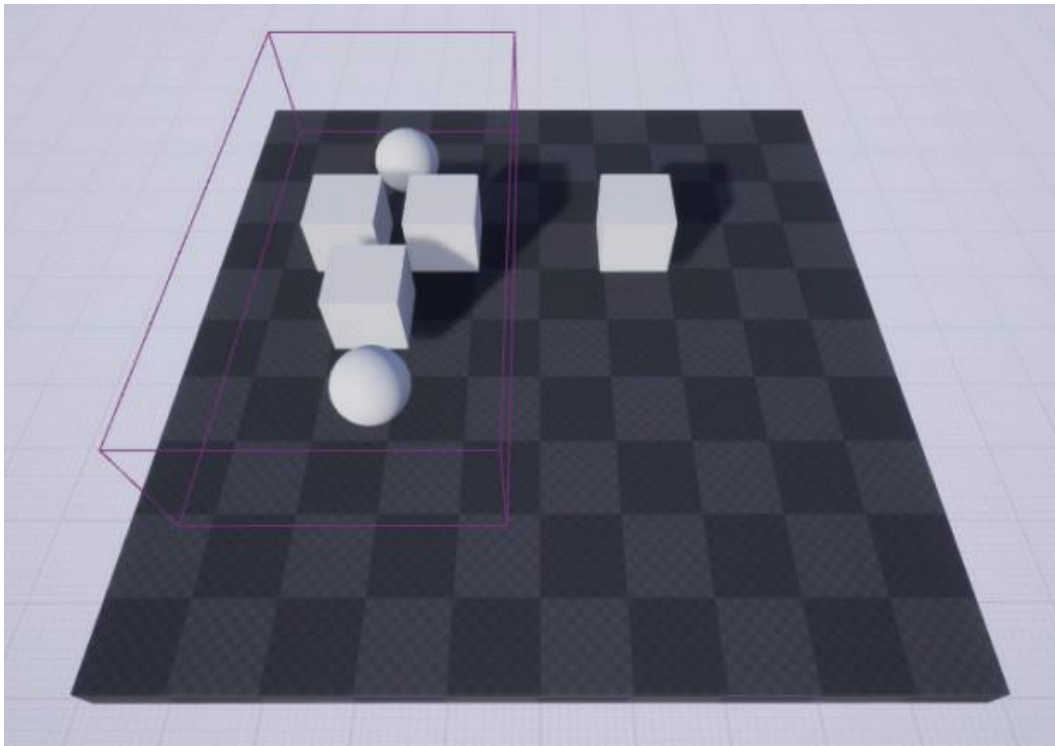


Рисунок 2.3 – Використання HLOD

Переваги HLOD:

- поліпшення продуктивності. Зменшення кількості об'єктів, які потрібно малювати, значно знижує навантаження на відеокарту та процесор. Це дозволяє підтримувати високу частоту кадрів навіть у складних сценах;
- оптимізація використання пам'яті. Скорочення кількості дрібних об'єктів дозволяє ефективніше використовувати відеопам'ять, оскільки об'єднані об'єкти займають менше місця;
- автоматизація процесу. UE надає інструменти для автоматичної генерації HLOD, що спрощує процес їх створення. Це дозволяє розробникам швидше та простіше оптимізувати свої проекти;
- підвищення стабільності. Зниження навантаження на систему зменшує ризик виникнення лагів та інших проблем, пов'язаних із продуктивністю.

Недоліки HLOD:

- втрата деталей. Об'єднані об'єкти мають меншу деталізацію, порівняно з вихідними моделями. На великих відстанях це не так помітно, але при наближенні можливе зниження якості;

- час створення. Генерація HLOD може займати значний час, особливо у великих та складних сценах. Це може вимагати додаткових ресурсів та часу на етапі розробки;
- складність налаштування. Для досягнення оптимального результату може знадобитися значне налаштування та тестування. Необхідно враховувати безліч факторів, таких як відстань до гравця, розмір об'єктів та їх важливість у сцені.

Таким чином, HLOD є важливим інструментом для оптимізації продуктивності у UE 5. Його застосування дає змогу покращити дуже функціонування програм, особливо у великих відкритих світах, зберігаючи при цьому прийнятну якість візуалізації. Однак розробникам слід враховувати можливі недоліки, такі як втрата деталей та час, необхідний для генерації HLOD.

2.4 Nanite

2.4.1 Переваги Nanite над LOD

З появою UE 5 технології рендерингу зробили гігантський стрибок вперед завдяки новій системі віртуалізованої геометрії під назвою Nanite. Ця інновація дозволяє створювати деталізовані та масштабовані віртуальні світи з використанням високополігональних моделей без значного впливу на продуктивність.

Nanite є технологією мікрополігонального рендерингу, що динамічно створює рівні деталізації для геометрії в залежності від відстані до камери (рис. 2.4) [17, 18]. У порівнянні із традиційними методами, зокрема LOD, Nanite автоматично керує кількістю полігонів, що відображаються у кадрі, що усуває необхідність ручного створення кількох рівнів деталізації.

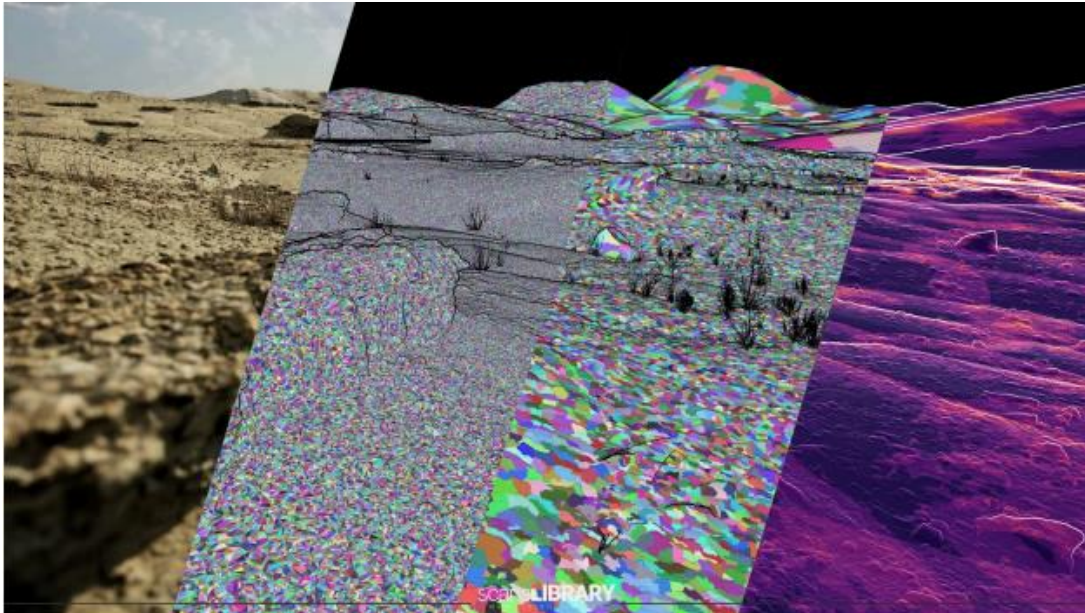


Рисунок 2.4 – Nanite

Як описано у п. 2.1, система LOD має деякі недоліки, такі як:

- створення LOD-моделей вручну. Потрібні додаткові ресурси та час на створення та налаштування кількох версій однієї моделі;
- переходи між LOD-рівнями. При перемиканні між рівнями деталізації можуть бути видимі артефакти.

Nanite вирішує ці проблеми завдяки своїй здатності автоматично керувати деталізацією в реальному часі, забезпечуючи більш плавні переходи та значно скорочуючи трудовитрати на підготовку моделей.

Переваги Nanite:

- висока деталізація. Дозволяє використовувати моделі із мільйонами полігонів без значного впливу на продуктивність;
- оптимізація продуктивності. Незважаючи на високу деталізацію, Nanite забезпечує високу продуктивність;
- економія часу. Nanite усуває необхідність створення та налаштування безлічі рівнів деталізації, що спрощує процес розробки та економить час.

Недоліки:

- обмеження за типами об'єктів: Nanite не працює з прозорими, тонкими або об'єктами, що динамічно деформуються;
- Вимоги до обладнання: Nanite вимагає сучасних GPU для

оптимальної роботи, що може обмежити використання технології менш потужних пристроях.

2.4.2 Зміни у процесі створення 3D-моделей з приходом Nanite і фотограмметрії

Створення високоякісних ігрових асетів в AAA-індустрії традиційно включає кілька етапів (рис. 2.5) [19]:



Рисунок 2.5 – AAA-пайплайн створення моделей

1. Блокування. Блокінг є створення спрощеної форми моделі з простих фігур. У блокінгу відсутні дрібні деталі, лише великі та середні форми.

2. Створення high-poly моделі. Художники з блокінгу створюють деталізовану модель з високою кількістю полігонів, використовуючи інструменти 3D -моделювання, такі як ZBrush, Blender або Maya. Ця модель включає всі дрібні деталі, які надають їй реалістичного вигляду.

3. Створення low-poly моделі (Ретопологія). Процес створення спрощеної версії моделі (low-poly) із меншим числом полігонів, зберігаючи при цьому загальну форму та силует high-poly моделі. Цей етап є необхідним для оптимізації моделі для рендерингу в реальному часі.

4. UV -розгортка. UV -розгортка являє собою накладення швів на 3D-моделі та подання її в 2D-просторі. Робиться це на low-poly моделі, щоб коректно перенести деталізацію з high-poly моделі та подальшого текстуровання.

5. Запікання high-poly моделі на low-poly. Процес перенесення деталей з high-poly моделі на low-poly модель за допомогою нормалей та інших карт (normal maps, ambient occlusion maps тощо). Це дозволяє зберегти візуальну складність high-poly моделі на low-poly моделі.

6. Текстуровання. Нанесення текстур на low-poly модель за допомогою інструментів, таких як Substance Painter або Photoshop. Цей етап включає роботу з кольором, нормаліями, картами відображення та іншими текстурами для створення фінального вигляду моделі.

Фотограмметрія – це процес створення високополігональних 3D -моделей із безлічі фотографій реальних об'єктів (рис. 2.6) [20]. З приходом технології Nanite, використання фотограмметрії стало значно простіше та ефективніше. Художники можуть використовувати ці високодеталізовані 3D- моделі як high-poly моделей.



Рисунок 2.6 – Фотограмметрія

Так як для Nanite використовуються high-poly моделі, процес створення моделей може змінитися:

1. Блокування. У разі використання фотограмметрії цей етап відпадає.
2. Створення high-poly моделі. Фотограмметрія полегшує цей етап, дозволяючи створювати деталізовані моделі реальних об'єктів з мінімальними зусиллями. Для максимально якісного результату в процесі зйомки потрібно враховувати погодні умови та робити безліч фотографій з різних ракурсів.
3. Створення low-poly моделі (Ретопологія). Немає потреби, тому що для Nanite в UE 5 використовуються high-poly моделі.
4. UV -розгортка. У цьому випадку тепер потрібно робити розгортку для high-poly моделі, а не для low-poly.
5. Запікання high-poly моделі на low-poly. Вся деталізація представлена у геометричному вигляді на high-poly моделі, тому етап запікання відпадає.
6. Текстурування. При фотограмметрії модель йде із текстурами. При необхідності робиться корекція кольору для усунення тіней і пересвітів, а також здійснюється домальовка в виправлених ділянках геометрії.

Введення технології Nanite та використання фотограмметрії значно змінили традиційний пайплайн створення моделей. Вони значно спрощують пайплайн створення ігрових асетів, усуваючи необхідність у ручній оптимізації моделі та налаштування LOD-рівнів, що надає розробникам можливість зосередитись на креативній частині процесу та створювати більш деталізовані та реалістичні віртуальні світи. В результаті час розробки скорочується, а якість

ігрових ассетів значно підвищується. Незважаючи на деякі обмеження та високі апаратні вимоги, Nanite відкриває нові обрії для створення масштабних імерсивних проєктів.

2.5 Висновки до другого розділу

В цьому розділі наведено теоретичне обґрунтування і представлено опис методів для оптимізації.

Розглянуто різноманітні технології і підходи до проведення оптимізації, в т.ч. найновіші напрацювання, котрі не застосовувалися раніше. Викладений в розділі матеріал забезпечує теоретичне підґрунтя, котре потрібне для розуміння та втілення практичної складової роботи, а також надає опис засобів та програмних продуктів, які використовуються.

3 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ

3.1 Налаштування системи LOD на 3D-моделі

Коли користувач знаходиться близько до 3D -моделі, нам необхідно щоб вона була дуже деталізованою. Однак не обов'язково, щоб ця модель була дуже опрацьована, коли користувач знаходиться далеко від неї. Немає сенсу використовувати дуже складну і деталізовану 3D -модель, якщо вона займає лише кілька пікселів на екрані і гравець її ледве бачить. У UE 5, завдяки системі LOD, є можливість перемикатися на менш опрацьовану версію 3D -моделі по мірі віддалення користувача від неї. Це допомагає оптимізувати сцени, де безліч об'єктів можуть розташовуватися далеко від користувача.

Для того, щоб налаштувати рівні деталізації, по-перше, необхідно створити проект в UE 5 і мати 3D -модель для тесту. Далі необхідно, клацнувши двічі ЛКМ по 3D моделі в контент-браузері, перейти в редактор статичних сіток (рис. 3.1)

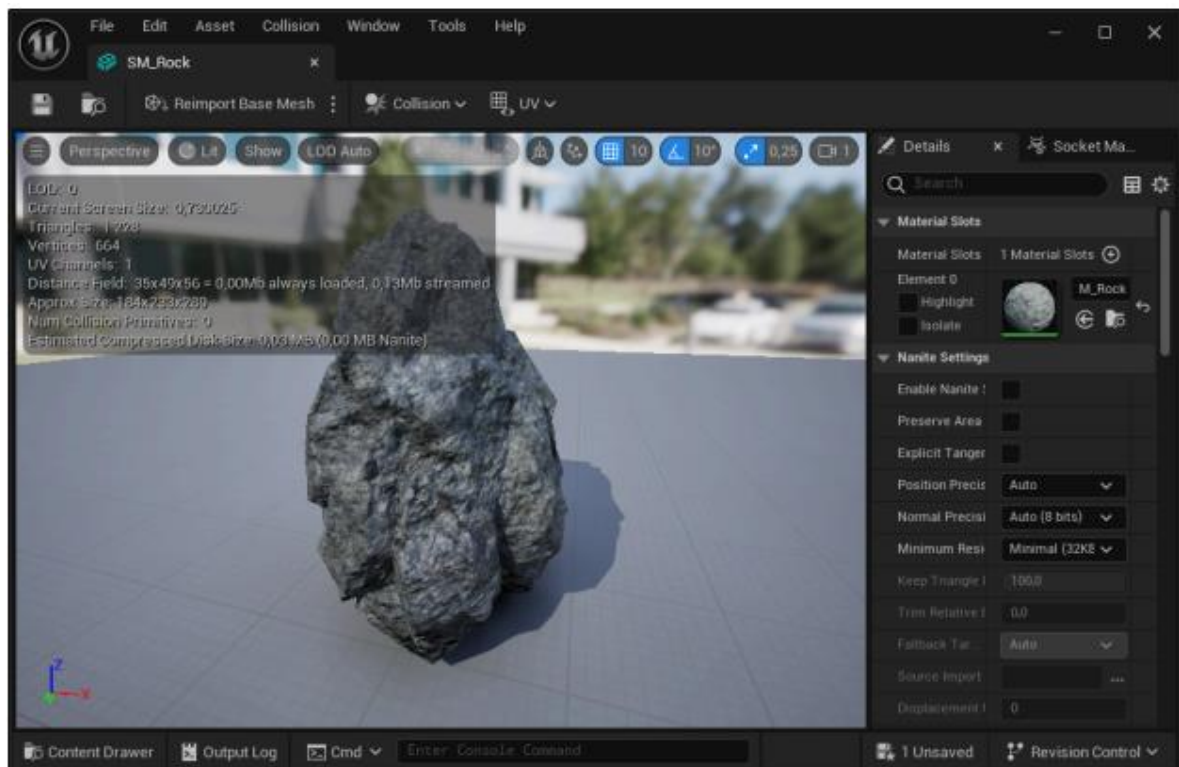


Рисунок 3.1 – Редактор статичних сіток у UE 5

Налаштування системи LOD знаходяться у секції “LOD Settings” у вкладці “Details” (рис. 3.2). Тут можна імпортувати 3D- модель як LOD -рівня або вказати кількість необхідних LOD- рівнів, щоб рушій сам згенерував спрощені версії 3D -моделі. У UE 5 можна створити до 8 LOD рівнів. Кількість рівнів залежить від розміру об'єкта та його важливості в сцені, чим більше об'єкт і важливіший на сцені, тим більше рівнів деталізації необхідно створити для плавного переходу від одного рівня деталізації до іншого.

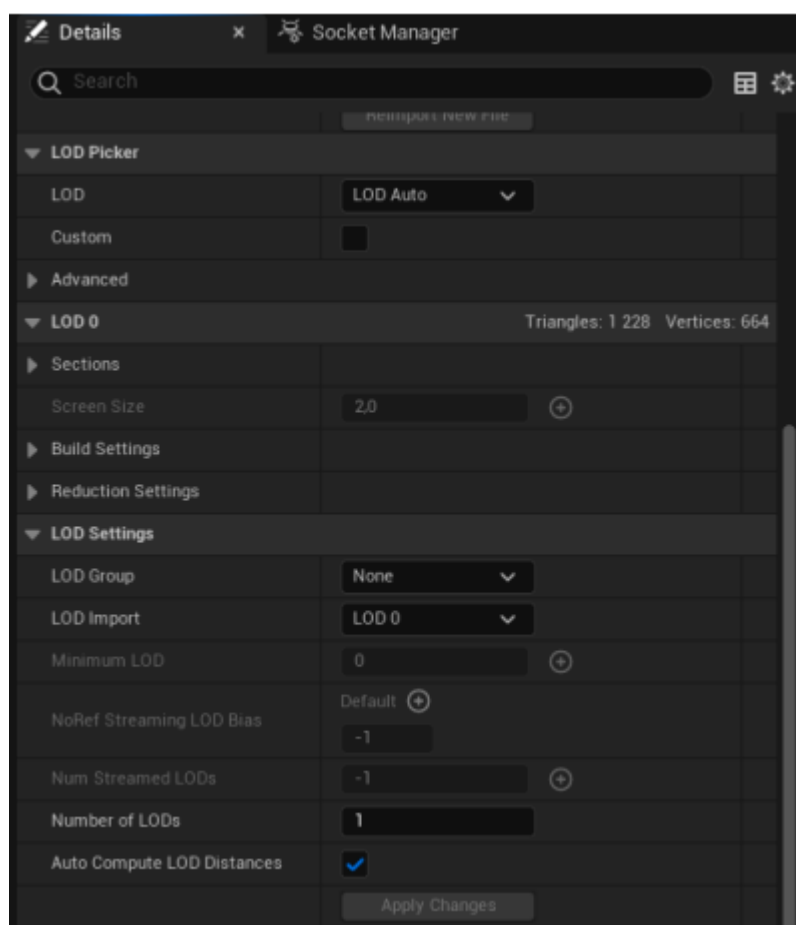


Рисунок 3.2 – Налаштування системи LOD у UE 5

Також є можливість вимкнути “ Auto Compute LOD Distances”, щоб вручну встановлювати на якій дистанції буде перехід з одного рівня деталізації на інший. Для цього в секції "LOD Picker" необхідно вибрати LOD -рівень, який необхідно налаштувати, і в полі "Screen Size" встановити значення, при якому потрібно перейти на поточний LOD -рівень. Там є можливість налаштування кількості полігонів.

При коректному налаштуванні системи LOD можна отримати гарний результат, при якому користувач не помітить різниці під час переходів між LOD-рівнями (рис. 3.3).

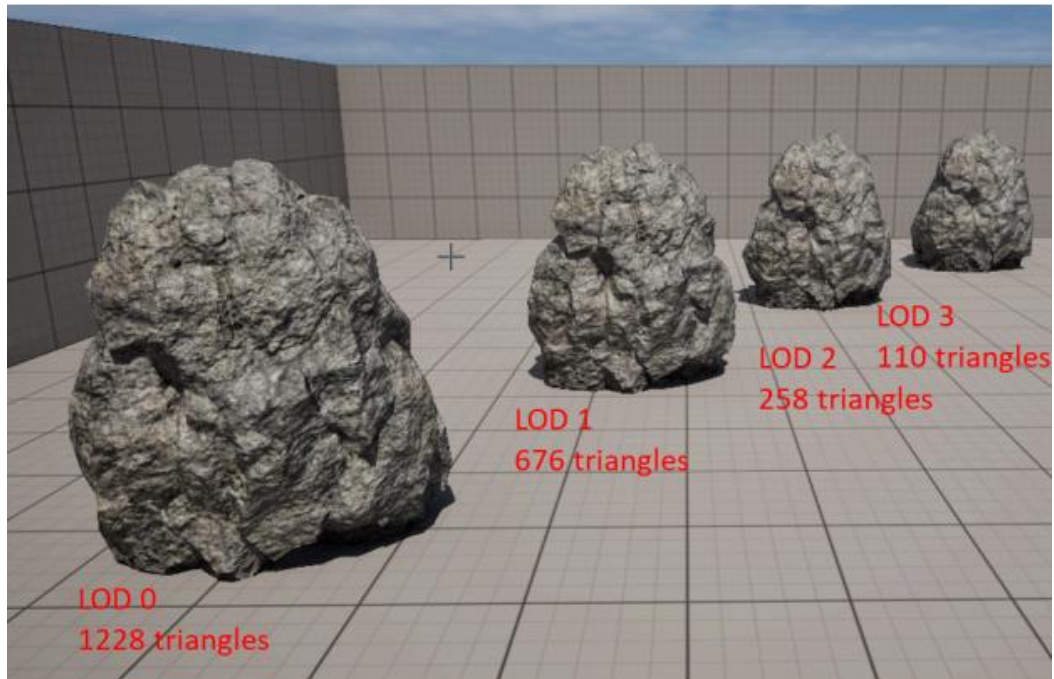


Рисунок 3.3 – Результат роботи системи LOD

3.2 Налаштування HLOD

У проектах з масштабним імерсивним зануренням віддалі від користувача можуть бути безліч різних об'єктів, розташованих близько один до одного. Процесору та відеокарті доводиться малювати кожен із них окремо. HLOD дозволяє знизити навантаження на процесор та відеокарту шляхом об'єднання поблизу розташованих об'єктів в одну велику спрощену модель.

Перед об'єднанням моделей у кластери потрібно вказати радіус дії системи HLOD. Для цього необхідно у вкладці “World Settings” секції “HLODSystem” налаштувати поле “Desired Bound Radius” (рис. 3.4).

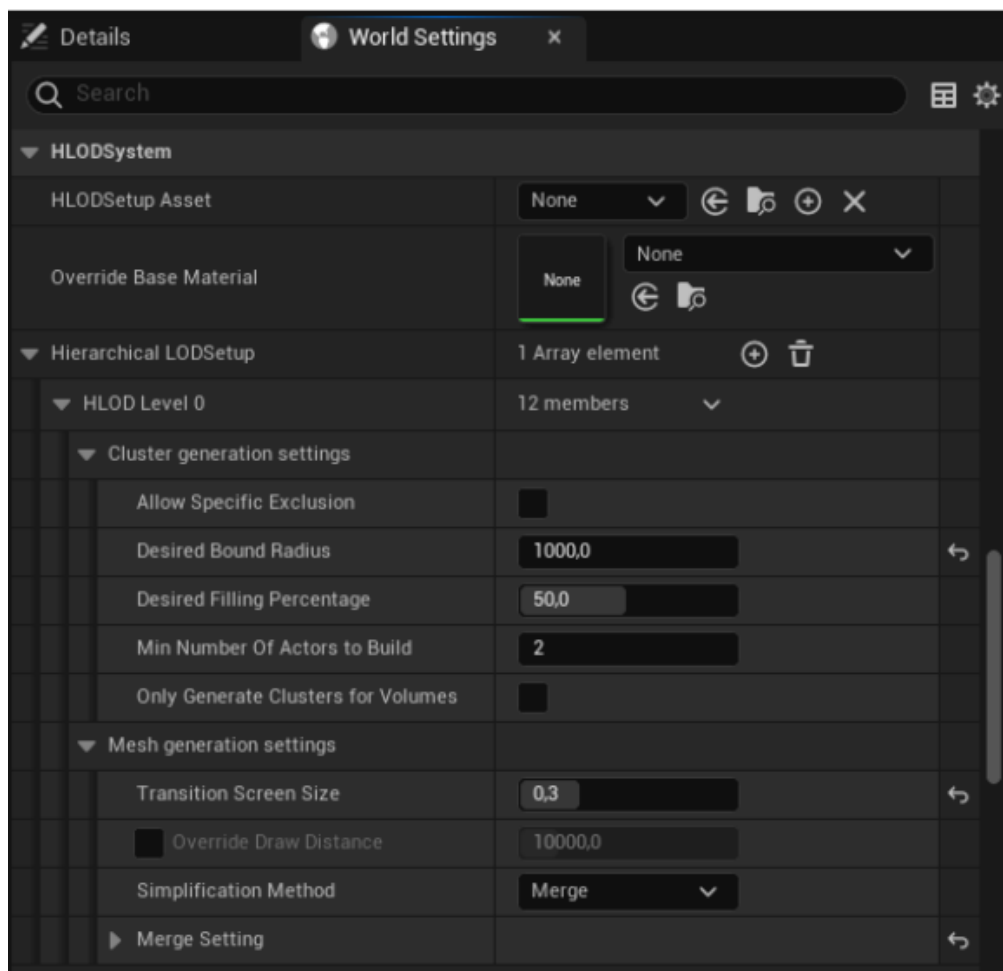


Рисунок 3.4 – Налаштування радіусу дії системи HLOD

Далі необхідно перейти у вікно “Hierarchical LOD Outliner” (рис. 3.5) та виконати такі дії:

- “Regenerate Clusters”, залежно від встановленого радіусу дії системи, генеруються кластери, що включають близько розташовані об’єкти в цьому радіусі;
- “Generate Proxy Meshes”, використовуючи створені кластери, генеруються спрощені версії об’єднаних об’єктів. Може знадобитися значний час для створення залежно від складності сцени і потужності комп’ютера

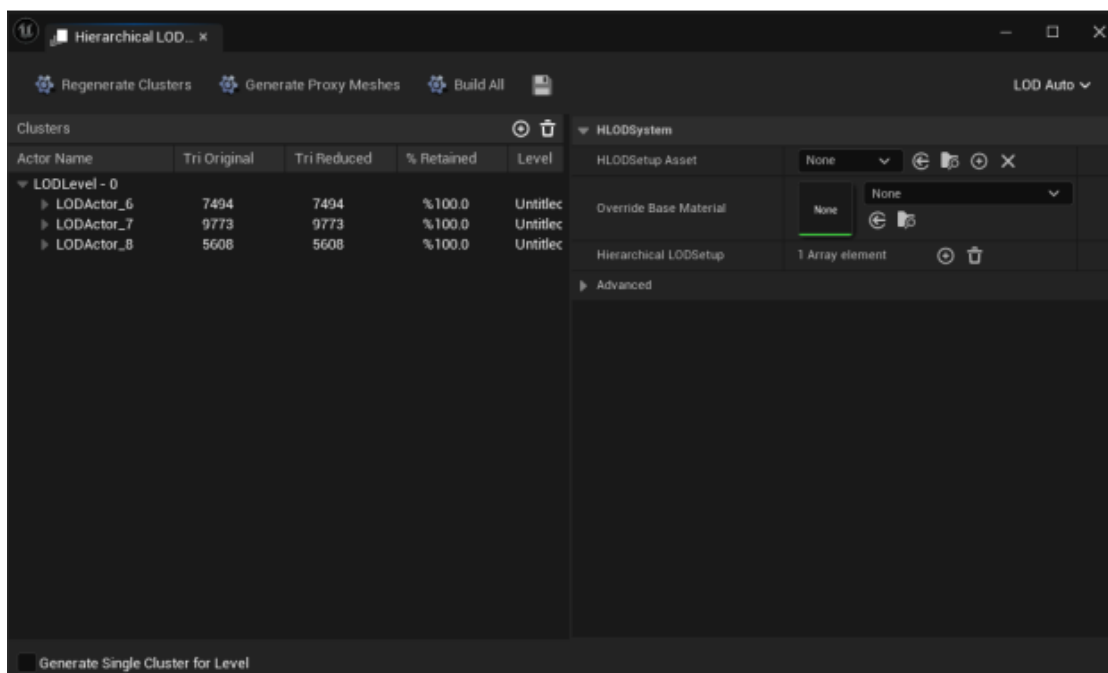


Рисунок 3.5 – Вікно "Hierarchical LOD Outliner"

В результаті отримані спрощені об'єднані моделі, які автоматично використовуються далеко від користувача. Тепер комп'ютеру достатньо відобразити одну велику просту модель замість відображення кожної окремо (рис. 3.6).

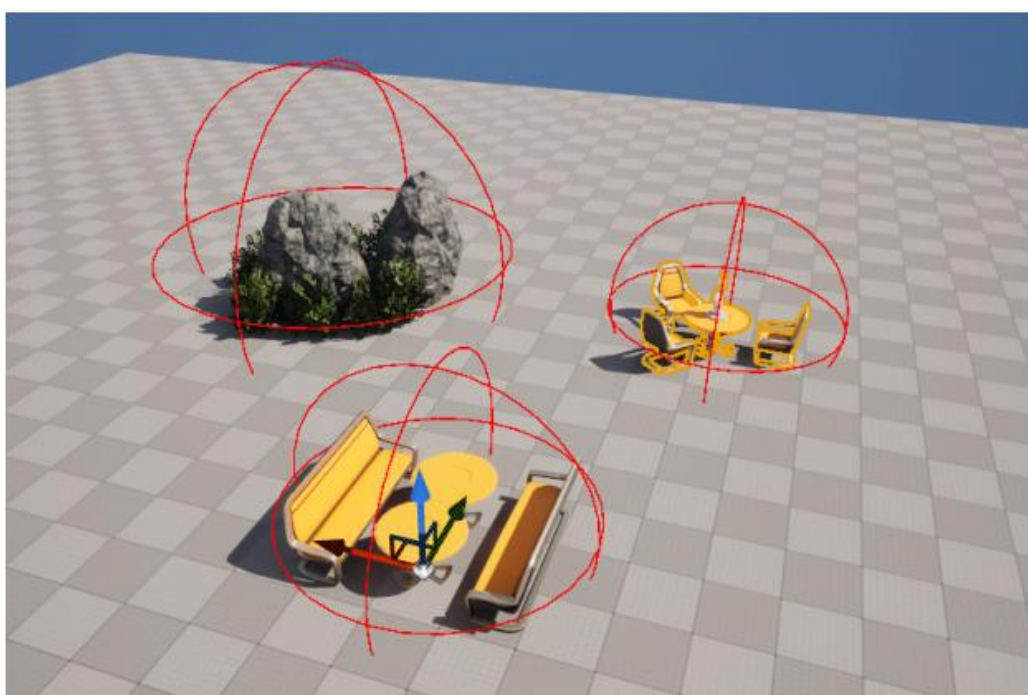


Рисунок 3.6 – Результат роботи HLOD

3.3 Використання технології Nanite

Nanite і LOD – це дві різні технології, які використовуються для оптимізації у масштабних імерсивних проектах. Залежно від вимог до 3D -моделі необхідно вибрати, яку з технологій використовувати.

У UE 5 є 3 способи підключення технології Nanite до 3D моделі.

1. Контент-браузер. Щоб увімкнути технологію Nanite для 3D-моделі в контент-браузері, необхідно клацнути ПКМ по моделі та активувати пункт “Nanite” зі списку дій (рис. 3.7). Після цього знадобиться деякий час, щоб рушій перетворив модель під технологію Nanite.

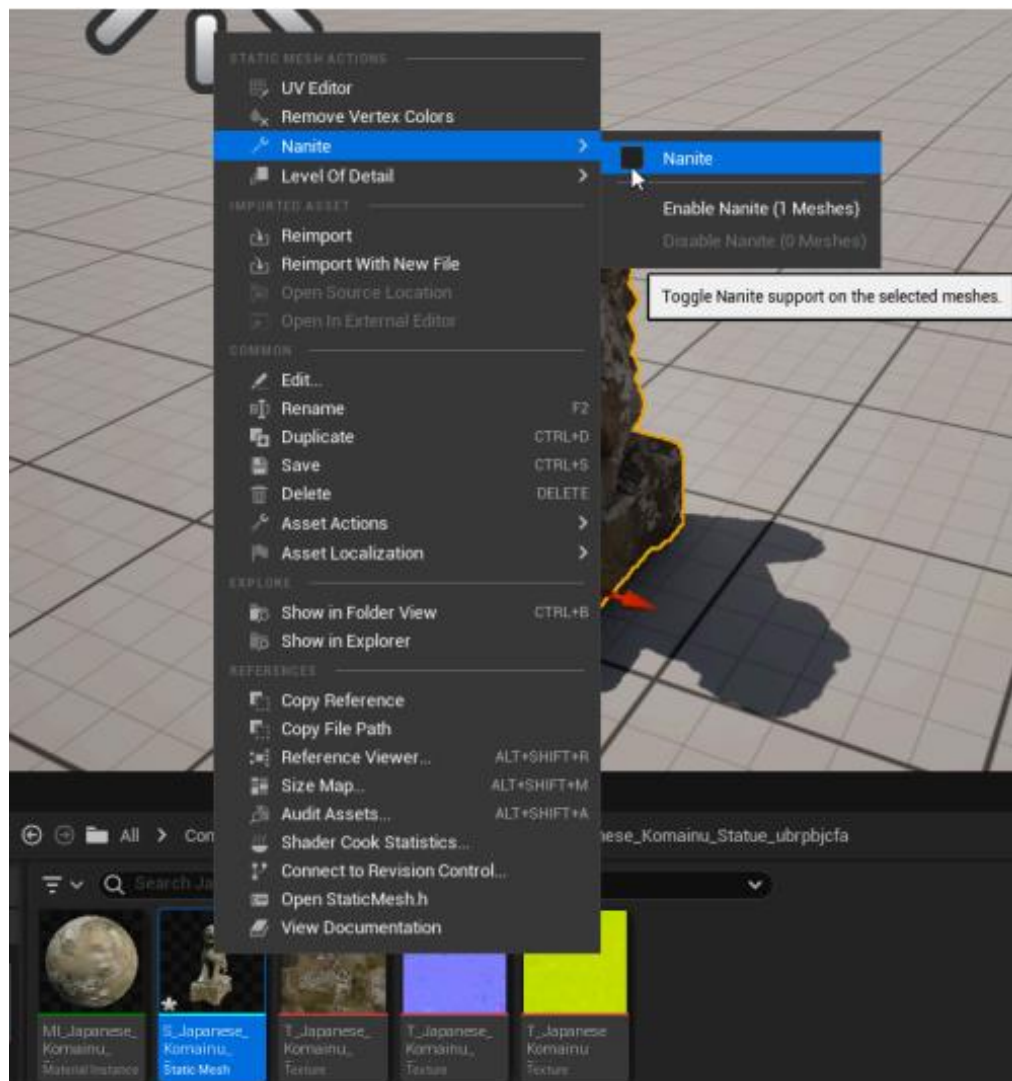


Рисунок 3.7 – Під’єднання Nanite через контент-браузер

2. Редактор статичної сітки. У вкладці “Details” редактора статичних сіток є секція “Nanite Settings”, де можна змінити налаштування Nanite, а також увімкнути підтримку Nanite, активувавши пункт “Enable Nanite Support” та застосувавши зміни (рис. 3.8).

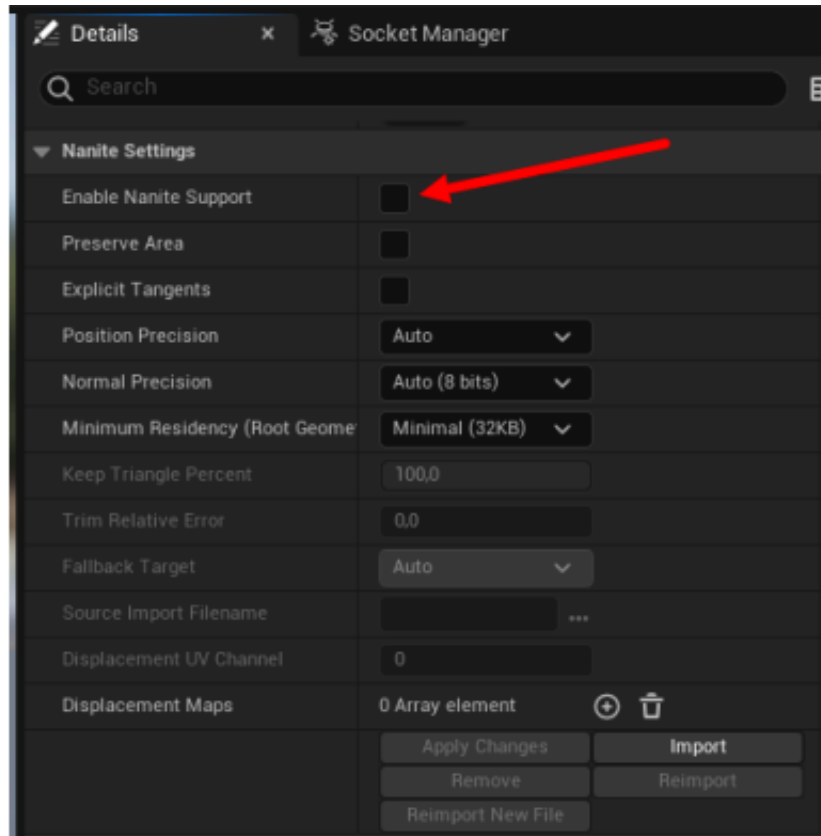


Рисунок 3.8 – Під’єднання Nanite у редакторі статичних сіток

3. Імпорт 3D моделі. При імпорті 3D-моделі в рушій можна активувати пункт “Build Nanite”, що дозволяє використовувати технологію Nanite для цієї моделі (рис. 3.9).

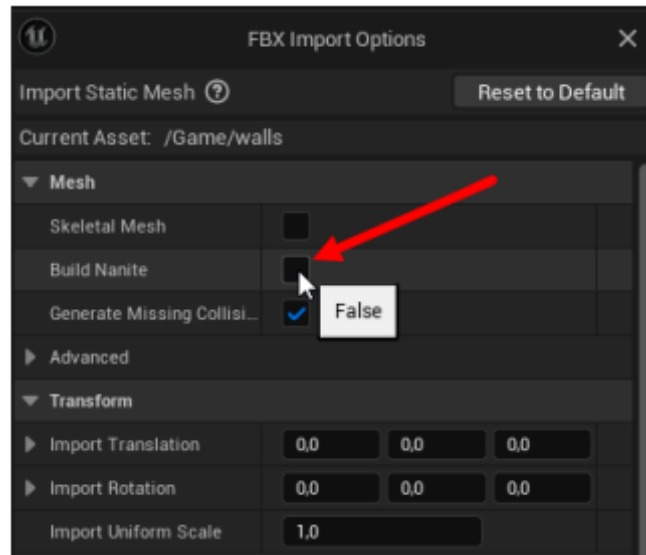


Рисунок 3.9 – Під'єднання Nanite при імпорті

Для демонстрації роботи технології Nanite було взято 3D-модель, що складається з 2 мільйонів трикутників і займає у проекті 90 мегабайт (рис. 3.10).



Рисунок 3.10 – Високодеталізована 3D -модель для Nanite

Якщо на сцені розставити 100 таких об'єктів, то загалом буде 200 мільйонів трикутників і кількість кадрів за секунду (FPS) зі 120 впаде до 10 FPS (рис. 3.11).

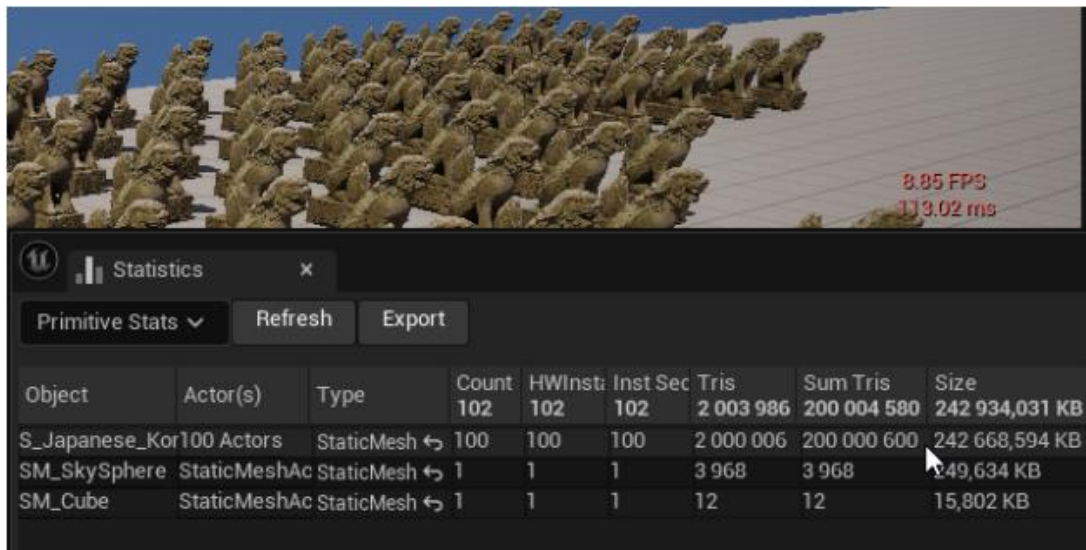


Рисунок 3.11 – Статистика до застосування Nanite

Після застосування Nanite, 3D-модель перетворюється на віртуалізовану геометрію, яка займає вже 16 тисяч трикутників замість 2 мільйонів та FPS піднімається до 115 (рис. 3.12).

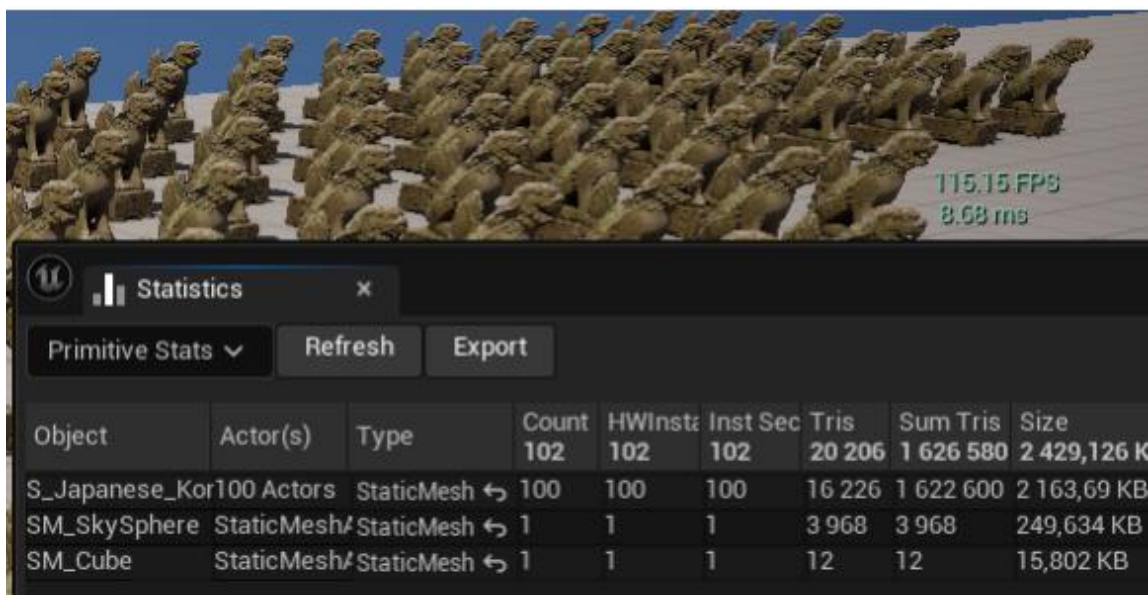


Рисунок 3.12 – Статистика після застосування Nanite

3.4 Напівоктаедричні імпостери

3.4.1 Опис роботи програмного рішення

У масштабних імерсивних проектах, таких як ігри з відкритим світом та віртуальні середовища, дерева є важливим елементом ландшафту. Вони додають реалістичності та більшого занурення у навколишнє середовище. Однак через високу полігональність дерева можуть сильно навантажувати систему, особливо коли їх багато.

На жаль, технологія Nanite поки не підтримує роботу з рослинністю, а система LOD при генерації останніх рівнів деталізації сильно спотворює форму 3D-моделі. Є старий спосіб використання білбордів, але його результат роботи виглядає дуже плоским та нереалістичним, що псує імерсивність у масштабних проектах.

З метою розв'язання цієї проблеми було створено плагін для генерації напівоктаедричних імпостерів. Блок-схема алгоритму роботи програмного рішення наведена на рис. 3.13.

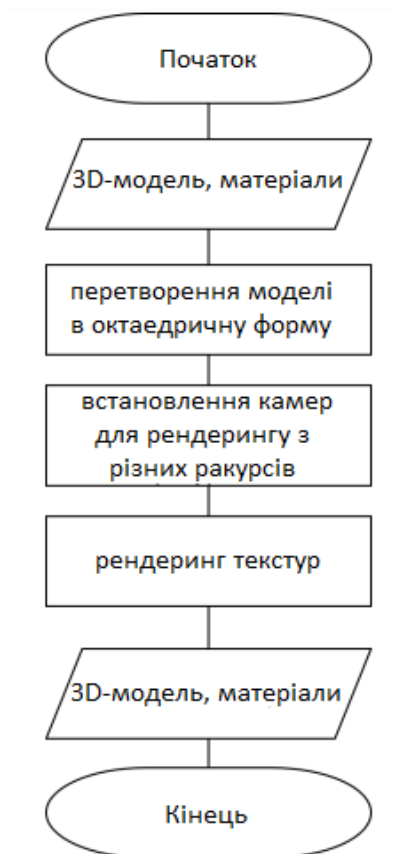


Рисунок 3.13 – Блок-схема роботи плагіна

Ідея напівоктаедричних імпостерів полягає в тому, щоб захопити об'єкт із різних кутів огляду (рис. 3.14) та зберегти кожен вид у текстурі.



Рисунок 3.14 – Захоплення об'єкта з різних кутів огляду

Метод, що використовується тут, дуже важливий. Якщо використовувати замість напівоктаедра півсферу, можна помітити що кожне кільце півсфери має однакову кількість вершин. Таким чином, у верхньому ряду півсфери вершини розташовані щільніше, ніж на екваторі. Такий спосіб не оптимізований навколо верхніх полюсів, оскільки захоплюються види, які знаходяться поруч один з одним, а самий верхній кадр також повторюється, а не просто є одним видом (рис. 3.15).

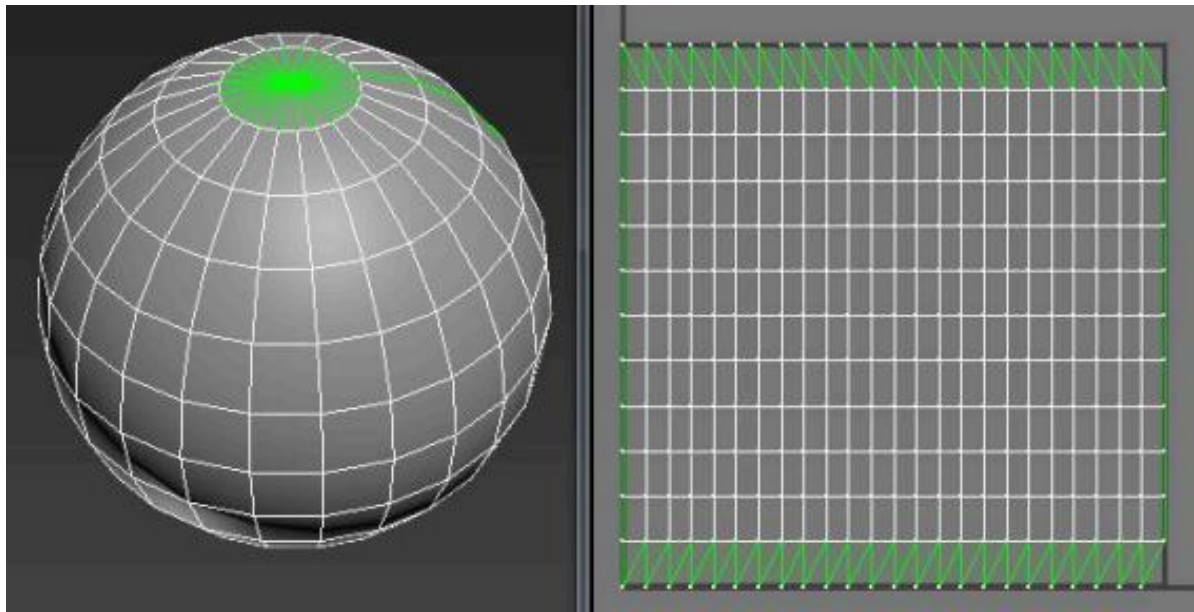


Рисунок 3.15 – Сфера та її представлення у 2D-просторі (UV-розгортка)

Тому було вирішено використовувати напівоктаедричну форму, тому що вона є зручним способом перетворення з 3D-простору на 2D-простір або навпаки (рис. 3.16). Напівоктаедр має дуже мало спотворень. Дещо більше, ніж куб, але його набагато простіше обчислювати.

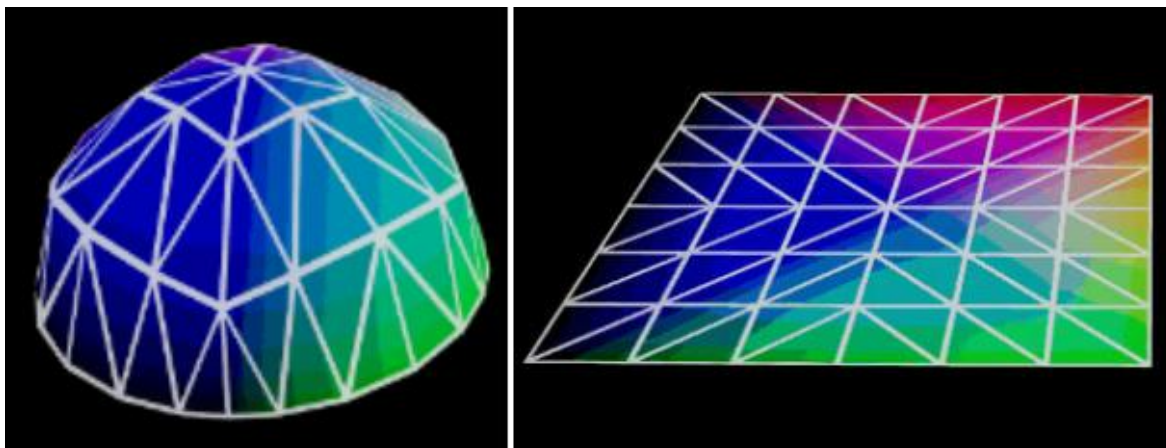


Рисунок 3.16 – Напівоктаедр у 2D- та 3D-просторі

Щоб зробити імпостер, необхідно вказати, скільки кадрів по осі XU ви хочете. Це визначає, наскільки щільною буде "сітка напівоктаедра". Кожна вершина сітки стане візуалізованим кадром. Потрібно звернути увагу, що сама сітка всередині вершинного шейдера повністю віртуальна і в жодній точці практично не відображається як геометрія. Якщо подивитися на віртуальну сітку поверх отриманого атласу текстур імпостера, можна побачити, що вершини сітки збігаються з центрами кадрів атласу (рис. 3.17).

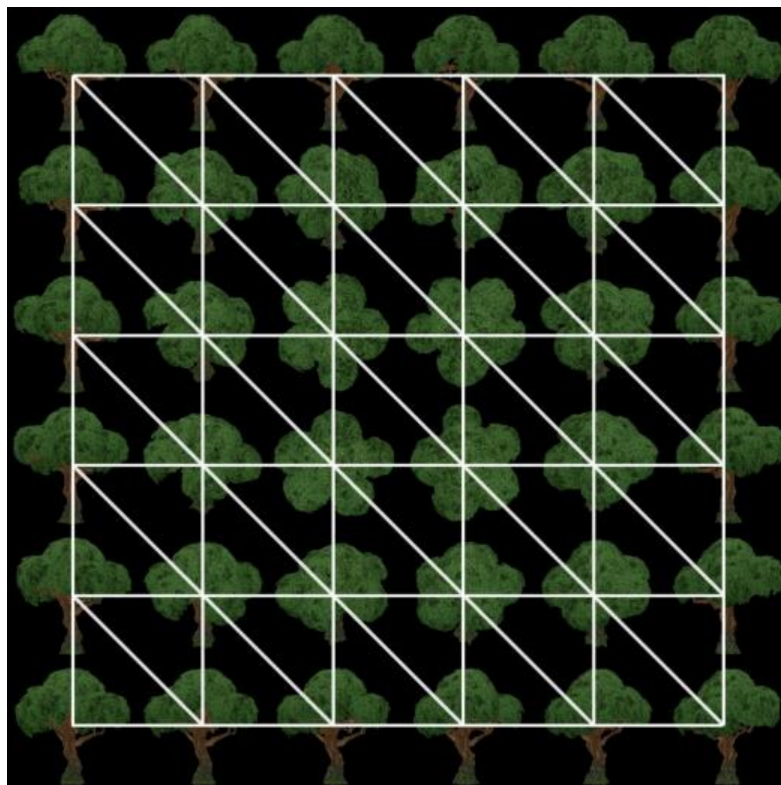


Рисунок 3.17 – Віртуальна сітка поверх атласу текстур імпостера

Залежно від напрямку погляду користувача до імпостера буде відображатися той чи інший захоплений кадр, який поєднується з сусідніми кадрами.

3.4.2 Використання програмного рішення на практиці

Для використання розробленого програмного рішення необхідно виконати дії у такому порядку.

1. Імпортувати плагін у проект;
2. У полі "Static Mesh Actor" вибрати 3D -модель для якої необхідно створити октаедричний імпостер.
3. У налаштуваннях матеріалів 3D -моделі додати ноду "ImposterCaptureSwitch" для зчитування даних з матеріалу (рис. 3.18).

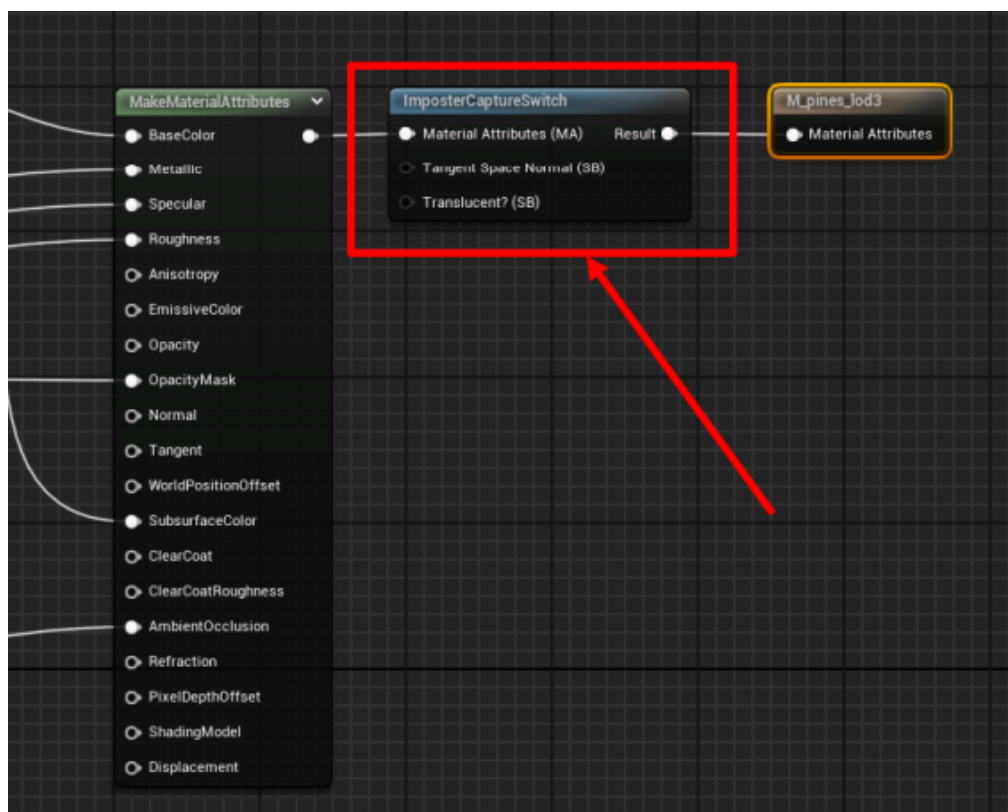


Рисунок 3.18 – Додавання ноди "ImposterCaptureSwitch"

4. Запустити "Render Frames" для рендерингу кадрів із різних ракурсів.
5. Запустити "Create Static Assets" для отримання атласу текстур та

матеріалу (рис. 3.19)

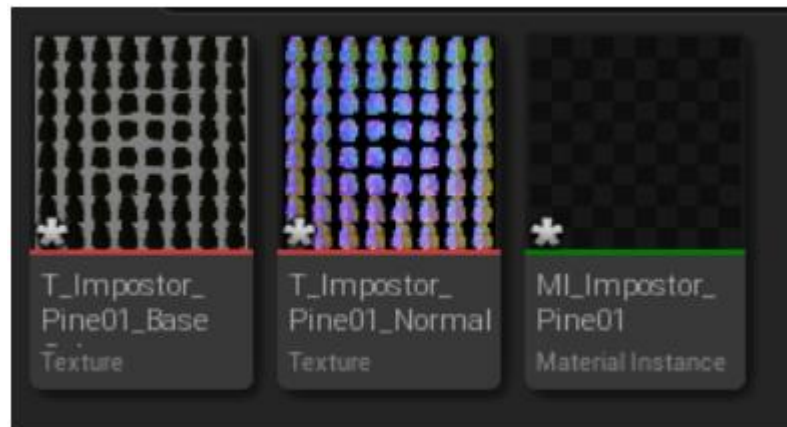


Рисунок 3.19 – Отримані текстури та матеріали імпостеру

6. За допомогою “Create StaticMesh” зберегти 3D -модель, на яку необхідно застосувати отриманий матеріал.

Отриманий результат роботи (рис. 3. 20) можна використовувати спільно з системами LOD і HLOD як останній рівень деталізації.



Рисунок 3.20 – Результат роботи напівоктаедричних імпостерів

3.5 Обговорення результатів

Під час розробки напівоктаедричних імпостерів для оптимізації

масштабних імерсивних занурень у UE 5 було досягнуто значних поліпшень у продуктивності рендерингу. Застосування октаедричних імпостерів дозволило суттєво скоротити кількість полігонів, необхідних для відтворення складних об'єктів, що особливо важливо для великих сцен із високою щільністю деталей.

Переваги октаедричних імпостерів:

- зменшення навантаження на систему. Завдяки використанню згенерованих текстур напівоктаедричні імпостери знижують кількість обчислень, необхідних для рендерингу, що дозволяє збільшити частоту кадрів;
- плавність візуалізації. Система змішування кадрів забезпечує плавні переходи між різними кутами огляду, створюючи більш реалістичне та безперервне сприйняття об'єкта;
- уфективне використання пам'яті. Зберігання інформації про об'єкт у вигляді текстур займає менше пам'яті порівняно з високополігональними моделями.

Для узагальнення результатів роботи розглянемо порівняльну таблицю критеріїв між іншими методами оптимізації (табл. 3.1)

Таблиця 3.1 – Порівняння методів оптимізації

Критерій	LOD	Nanite	Billboards	Мощ рішення
Спільна робота з іншими методами оптимізації	+	-	+	+
Максимальне спрощення геометрії	-	-	+	+
Збереження візуальної складової	-	+	-	+
Плавність переходів	+	+	-	+

Використання напівоктаедричних імпостерів UE 5 показали себе як ефективний метод оптимізації масштабних імерсивних сцен. Зниження навантаження на графічний процесор і поліпшення плавності переходів дозволили досягти більш високої продуктивності та якості зображення, що

робить цю техніку кращою для створення великих імерсивних світів.

3.6 Висновки до третього розділу

Описано практичне втілення запропонованих оптимізаційних методів. Наведені результати тестів розроблених оптимізаційних методів для наочної відображення розглядуваних технологій. Особливий акцент на практичній реалізації описуваних методів для втілення високої продуктивності у масштабних імерсивних застосунках на URE 5.

Проведено обговорення результатів програмної реалізації, проаналізована виконана робота, оптимізаційні досягнення та їх ефективність. Представлено оцінку запропонованого рішення та здійснено порівняння із тотожними методами.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Закордонний досвід організації охорони праці в ІТ-компаніях

Стан справ з охороною праці у світі стає все більш актуальною проблемою як для профспілок, так і для міждержавних структур, насамперед Міжнародної організації праці (МОП). МОП розглядає цю тему як частину своєї Програми гідної праці. Підвищена увага до проблем безпеки праці пояснюється в першу чергу тим, що з кожним роком, незважаючи на заходи, що вживаються, у різних країнах зростає рівень виробничого травматизму, у тому числі зі смертельними наслідками, і кількість профзахворювань.

На перший погляд, робота за комп'ютером при дослідженні моделей та побудові системи ПФПК здається безпечною, але саме легковажність до неї може призвести до певних проблем у здоров'ї людини. Професія програміста та інших фахівців ІТ-технологій пов'язана з колосальним розумовим напруженням. Розробники – настільки захоплені люди, що навіть відволікаючись від роботи над проектом, продовжують думати про роботу. Нерідко відпочинком вони вважають паралельну заміну основної діяльності, наприклад, читання профільної літератури, верстку сайтів, вивчення нових мов програмування. Однак мозок не може до безкінечності приймати виключно корисну інформацію, яку розробник прагне направляти в русло особистісного та професійного зростання [24].

Зарубіжний досвід охорони праці при використанні новітніх інформаційних технологій та сучасного комп'ютерного обладнання передбачає з метою попередження наслідків монотонної праці, підвищення рівня рухової активності і покращення розумової працездатності фахівців ІТ-індустрії під час технологічних перерв участь у спеціальних облаштованих приміщеннях необхідним спортивним інвентарем та різними тренажерами відповідних фізичних вправ, індивідуальних тренінгових завдань відповідно до віку, статі та категорії зорової роботи. Такий підхід дозволяє зняти надлишкове психофізіологічне перевантаження, підвищити працездатність центральної

нервової системи, попередити перевтому зорового аналізатора. Показана ефективність проведення різноманітних за своєю спрямованістю вправ робітників цієї галузі (приблизно на 5-30%) [24].

Зараз багато ІТ-компаній обладнують свої офіси кімнатами відпочинку та лаунж-зонами, які забезпечують психофізіологічне розвантаження працівників. Адже окремим робочим столом з ноутбуком вже давно нікого не здивуєш. Тому, бажаючи підвищити продуктивність працівників, міжнародні компанії змагаються, перетворюючи нудні одноманітні офіси в креативні простори, де нові ідеї народжуються без титанічних зусиль. Наприклад, винахідники компанії Inventionland трудяться в казкових декораціях. Тут і гігантський гоночний трек, і пряниковий будиночок, і дуже реалістичний піратський корабель, на палубі якого розташувалися комп'ютерні столи, ніжками яких служать винні бочки. Робочі місця співробітників компанії Google в Цюриху нагадують гігантські вулики, а офіс шведського інтернет-провайдера Bahnhof розташувався в бомбосховищі часів холодної війни і походить на підземний притулок землян після глобальної катастрофи. А щоб співробітників не тягнуло додому, роботодавці створюють і можливість релаксувати, не відходячи від робочого місця, обладнавши басейни, ігрові кімнати та спортзали [24].

Корпорація Google піклується і про санітарно-гігієнічні умови праці та використовує систему очищення повітря, яка видаляє з атмосфери всі токсини та тяжкі домішки [25]. Також незвичайними на території офісу є спеціальні ізолюючі світло й звук капсули, де втомлений співробітник може відпочити, так само як і в спеціалізованих кімнатах у зоні відпочинку з приглушеним світлом та заспокійливою музикою, масажних кабінетах, ігрових кімнатах. Культивуації активного відпочинку та спорту в Google відводиться особлива увага, оскільки одні з найпоширеніших хвороб програмістів пов'язані зі спиною. Саме тому в головному офісі міститься спортзал, в якому можуть одночасно займатися велика частка співробітників, до того ж на території є плавальний басейн з черговим рятувальником, тому, фактично, людина може працювати прямо звідти (пам'ятаючи про дотримання правил техніки безпеки) [26]. Для переміщення по

великій території Гуглмістечка «гуглівці» (так себе називають співробітники цієї компанії) користуються самокатами, які мають моторчики. Звичайно, усі ці зручності безкоштовні.

Намагається не відставати від Google і корпорація Facebook. Так, дана фірма пропонує своїм співробітникам чудові умови праці: якісне різноманітне харчування, зручне апаратне забезпечення, важливою складовою якого є широкі монітори ПК з високою роздільною здатністю [27]. Особливістю Facebook є те, що співробітники не мають ані своїх кабінетів, ані офісних кімнат – усі сидять разом, оскільки це стимулює комунікацію та обмін ідеями, підвищує продуктивність роботи. Загалом у компанії царює атмосфера позитиву. Усі співробітники привітні та посміхаються. На стінах можна побачити карикатури на топменеджерів, а робітники одягають футболки зі смішними написами [27]. Співробітники тут, на відміну від Google, пересуваються по офісу не на самокатах, а на скейтах. У Facebook також наявна велика кількість тематичних та ігрових зон, де кожен може розслабитися та відпочити, і це все також абсолютно безкоштовно.

Поява та впровадження нових інформаційно-комунікаційних технологій зумовлює необхідність подальшого вдосконалення охорони праці фахівців ІТ-індустрії. З метою належного правового забезпечення необхідно розширити та доповнити перелік основних професій комп'ютерної галузі у національному класифікаторі [28], а також підготувати відповідний випуск у кваліфікаційному довіднику посад фахівців ІТ-індустрії, що сприятиме вирішенню питань їх соціального захисту, пенсійного забезпечення, атестації робочих місць основних професій за умовами праці на предмет подальших певних видів пільг та компенсацій за важкі шкідливі і небезпечні умови праці. Важливим напрямом стосовно визначення професійної придатності фахівців з ІТ є проведення психофізіологічної експертизи відповідно до 5 статті [29].

ІТ-фахівці, як і будь-які інші працівники, повинні проходити навчання і перевірку знань з охорони праці або в навчальному центрі, або в самій організації. Якщо в ній є комісія з перевірки знань з охорони праці, атестованих в

спеціалізованому навчальному центрі. Навчання охорони праці в організації проводять по самостійно розробленими програмами. Їх складають, спираючись на типові програми, а також з огляду на особливості галузі, в якій працює організація.

Робота з комп'ютерами нового покоління характеризується певним психофізіологічними перенавантаженнями, втому зорового аналізатора, гіпокінезією, відсутність диференційованих норм праці при роботі з новою комп'ютерною технікою в залежності від віку, статі, категорії зорової роботи, режимів праці і відпочинку (протягом робочого дня, тижня, щорічного режиму відпусток). Все це потребує розробки нових нормативно-правових актів з регламентації праці та відпочинку фахівців ІТ-індустрії і стандартів підприємств, центрів комп'ютерної техніки, центрів інформаційних технологій, сучасних комп'ютерних класів. Особлива роль з точки зору збереження та відновлення здоров'я працюючих в комп'ютерній галузі належить попереднім та періодичним наглядам з подальшої психофізіологічної експертизи і встановленням професійної придатності при роботі з комп'ютерами нового покоління, який супроводжується виникненням певних факторів професійного ризику електротравматизму при їх ремонті та обслуговуванні. В цьому зв'язку необхідне запровадження експертизи на предмет безпечної експлуатації ПЕОМ, тобто офіційне підтвердження фактичних параметрів електробезпеки, їх відповідності вимогам нормативної документації фахівців, які проводять таку експертизу повинні пройти навчання і перевірку знань відповідно до вимог [30]. За результатами експертизи повинні прийматися рішення про відповідність ПЕОМ нормам безпеки, терміни чергової експертизи, оформлюються протоколи вимірювань і випробувань, проведені у разі потреби розрахунки та експертний висновок. Для підвищення розумової працездатності то зорової роботи повинна здійснюватися ергономічна оптимізація в рамках системи «оператор-термінал», яка сприятиме результативній фізичній та інтелектуальній працездатності і відновленню психосоматичного здоров'я фахівців ІТ-індустрії.

Заслугує на увагу зарубіжний досвід створення у приміщеннях та в зоні їх розміщення на територіях підприємств спеціальних візуальних комфортних умов та забезпечення вимог виробничої естетики, дотримання норм рівнів виробничого шуму та акустичної тиші за межами офісу. Також дуже важливим є використання в офісних приміщеннях та кабінетах психофізіологічного розвантаження функціональної музики, яка сприяє попередженню перевтоми і підтриманню необхідного рівня розумової працездатності фахівців комп'ютерної галузі. В цьому напрямі заслуговує на увагу створення при великих центрах інформаційних технологій кімнат (кабінетів) психофізіологічного розвантаження працівників галузі (на 5 місць) [25].

Всі наведені заходи щодо вдосконалення охорони праці фахівців ІТ-індустрії повинні контролюватися службою охорони праці та комісією з охорони праці підприємства. Особливе значення у соціальному захисті цієї категорії працівників належить прийняття комплексного договору, який може забезпечити фахівців додатковими пільгами та компенсаціями.

Таким чином, використання новітніх технологій вимагає від фахівців ІТ-індустрії дотримання певних правил та вимог з точки зору безпеки праці, її нормування з урахуванням віку працюючих та загального інформаційного навантаження, розробки та впровадження індивідуальних, щотижневих та щорічних режимів праці та відпочинку, які сприятимуть профілактиці перевтомлення і підвищенню розумової працездатності працюючих. Особливу роль в цьому напрямі повинні відігравати ергономічні заходи стосовно створення робочих місць, оптимізації взаємодії людини в рамках системи «оператор-термінал».

4.2 Оцінка дії електромагнітного імпульсу на елементи комп'ютерної системи

У воєнний час при застосуванні ядерної зброї проти України на електронно-обчислювальне обладнання в першу чергу буде впливати електромагнітний

імпульс (ЕМІ) ядерного вибуху у вигляді короткого імпульсу, який вражає головним чином електричну та електронну апаратуру [31].

ЕМІ виникають в основному в результаті взаємодії гамма-випромінювання з атомами навколишнього середовища. На утворення ЕМІ йде невелика кількість ядерної енергії, але він здатен викликати високі імпульси струмів та напруг в кабелях повітряних і підземних ліній зв'язку, сигналізації, управління, електропередачі, в антенах радіостанцій. Вплив ЕМІ може привести до згорання чутливих електронних та електричних елементів, зв'язаних з великими антенами чи відкритими дротами, а також до порушень в обчислювальних пристроях.

Особливістю ЕМІ, як вражаючого фактору є його здатність розповсюджуватись на десятки і сотні кілометрів в оточуючому середовищі. Тому ЕМІ може вплинути своєю дією на об'єкти, там де вибухова хвиля, світлове випромінювання, проникаюча радіація втрачають своє значення, як вражаючі фактори. При наземних та низьких повітряних вибухах в лініях зв'язку та електрозабезпечення виникають напруги, які можуть викликати пробій ізоляції провідників та кабелів відносно землі, пробій ізоляції елементів приладів підключених до повітряних і підземних ліній. Степінь враження залежить від наведеного імпульсу напруги чи струму і також електричної міцності обладнання.

Найбільш піддані впливу ЕМІ системи зв'язку, сигналізації, управління. Використані в цих системах кабелі та апаратура мають обмежену електричну міцність не більше 10кВ імпульсної напруги, тоді як наведені імпульси напруги від ЕМІ можуть перевищувати ці значення. Найбільш піддана впливу ЕМІ апаратура виконана на напівпровідниках та інтегральних схемах, працюючих на малих струмах і напругах, і значить відчутних до впливу зовнішніх електричних і магнітних кіл, в тому числі і елементи програмного засобу для управління процесом міграції віртуальних машин в обчислювальній хмарі. ЕМІ пробиває ізоляцію, спалює елементи електричних схем радіоапаратури, викликає коротке замикання в радіопристроях, іонізацію діелектриків, змінює або повністю стирає магнітний запис. Встановлено, що при дії ЕМІ на апаратуру найбільша напруга

наводиться на вході. В транзисторах відбувається така залежність: чим більший коефіцієнт підсилення транзистора, тим менша його електрична міцність.

ЕМІ пошкоджує також резистори, викликає іскріння в їх міжконтактних з'єднаннях і деяких областях провідної поверхні. Найбільшу небезпеку ЕМІ представляє для апаратури, яка встановлена в особливо міцних спорудах, які витримують великі тиски ударної хвилі. В цих спорудах апаратура не виходить з ладу від механічних пошкоджень, але ЕМІ може вивести з ладу всю незахищену апаратуру системи зв'язку, сигналізації і керування. Найбільших значень досягають напруги, які наводяться між кабелем і землею.

Розглянемо можливі шляхи рішення задачі захисту від ЕМІ сервісу для адміністрування і обліку роботи автомобільної пар. Ідеальним захистом від ЕМІ виявилось б повне укриття приміщення, в якому розміщена радіоелектронна апаратура, металевим екраном. Водночас зрозуміло, що практично забезпечити такий захист у ряді випадків неможливо, тому що для роботи апаратури часто потрібно забезпечити її електричний зв'язок із зовнішніми пристроями. Тому використовуються менш надійні засоби захисту, такі, як струмопровідні сітки, або плівкові покриття для вікон, щільникові металеві конструкції для повітрезабірників і вентиляційних отворів і контактні пружинні прокладки, розміщені по периметру дверей і люків.

Більш складною технічною проблемою рахується захист від проникнення ЕМІ в апаратуру через різноманітні кабельні входи. Радикальним рішенням даної проблеми міг би стати перехід від електричних мереж зв'язку до практично не схильних до впливу ЕМІ волоконно-оптичних. Проте заміна напівпровідникових приладів у всьому спектрі виконуваних ними функцій електронно-оптичними пристроями можлива тільки у віддаленому майбутньому. Тому в даний час в якості засобів захисту кабельних входів найбільші широко використовуються фільтри, у тому числі волоконні, а також іскрові розрядники, металлоокисні варистори та ін. [31].

Металлоокисні варистори є напівпровідниковими приладами, що різко підвищують свою провідність при високій напрузі. Проте, при застосуванні цих

приладів у якості засобів захисту від ЕМІ варто враховувати їх недостатньо високу швидкодію і погіршення характеристик при кількарізовому впливі навантажень. Ці недоліки відсутні у високошвидкісних зенеровських діодах, дія яких заснована на різкій лавиноподібній зміні опору від високого значення практично до нуля, при перевищенні прикладеної до них напруги граничного розміру. Крім того на відміну від варисторів характеристики зенеровських діодів після багатократних впливів високих напруг і переключень режимів не погіршуються.

Найбільш раціональним підходом до проектування засобів захисту від ЕМІ кабельних входів є створення таких роз'ємів у конструкції яких передбачені спеціальні заходи, що забезпечують формування елементів фільтрів і установку вмонтованих зенеровських діодів. Подібне рішення сприяє одержанню дуже малих значень ємності й індуктивності, що необхідно для забезпечення захисту від імпульсів, що мають незначну тривалість і, отже, потужну високочастотну складову.

4.3 Висновки до четвертого розділу

В цьому розділі розглянуто важливі питання охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях, зокрема описано закордонний досвід організації охорони праці в ІТ-компаніях та виконано оцінку дії на елементи комп'ютерної системи.

ВИСНОВКИ

У ході аналітичного дослідження в рамках кваліфікаційної роботи була виявлена велика проблема в області оптимізації масштабних імерсивних занурень, а також недостатня кількість рекомендацій з використання тих чи інших методів оптимізації в UE 5. Впровадження досліджених та розроблених методів оптимізації та рекомендацій щодо них покращують процес розробки, зменшує можливу кількість помилок та забезпечує більш високу якість кінцевого продукту.

Для вирішення виявлених проблем, пов'язаних з оптимізацією масштабних імерсивних занурень при реалізації на UE 5, було проведено ретельний аналіз існуючих проектів з масштабним імерсивним зануренням і методів оптимізації, що використовуються при їх розробці. В результаті дослідження було сформульовано загальні рекомендації щодо використання тих чи інших методів оптимізації.

Одним із значних результатів цього дослідження стала розробка генератора напівоктаедричних імпортів у UE 5. Цей алгоритм був розроблений для вирішення конкретних завдань, таких як покращення якості візуалізації далеких об'єктів та оптимізація цих об'єктів шляхом значного зменшення кількості полігонів. Такий спосіб оптимізації дуже добре себе показує на моделях дерев, коли інші методи оптимізації не можуть демонструвати таких високих показників з точки зору оптимізації та візуалізації.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ

1. Global Immersive Media Market By Component (Hardware, Software, and Services)... [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://market.us/report/immersive-media-market> (дата звертання: 21.11.2025)
2. Video Game Market (By Type: Online, Offline; By Platform: Computer, Console, Mobile; By Business Model: Free-to-play, Pay-to-play, Play-to-earn) [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.precedenceresearch.com/video-game-market> (дата звертання: 21.11.2025).
3. Unreal Engine 5 // The most powerful real-time 3D creation tool – Unreal Engine. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.unrealengine.com/en-US/unreal-engine-5> (дата звертання: 22.11.2025).
4. Ожанський С.І. Масштабні імерсивні занурення // Інформаційні моделі, системи та технології: Праці XIII наук.-техн. конф. Тернопіль, 17-18 грудня 2025 р. с. 69.
5. What are immersive technologies? [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.adalovelaceinstitute.org/resource/immersive-technologies-explainer/> (дата звертання: 23.11.2025).
6. Ожанський С.І. Можливості Unreal Engine 5 для створення імерсивних середовищ // Інформаційні моделі, системи та технології: Праці XIII наук.-техн. конф. Тернопіль, 17-18 грудня 2025 р. с. 70.
7. Pushing the boundaries of immersion and storytelling: A technical review of Unreal Engine, [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://doi.org/10.1016/j.displa.2025.103268> (дата звертання: 24.11.2025).
8. Unreal Engine 5 Revealed! | Next-Gen Real-Time Demo Running on PlayStation 5 // Unreal Engine. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://youtu.be/qC5KtatMcUw> (дата звертання: 24.11.2025).
9. Introducing The Matrix Awakens: An Unreal Engine 5 Experience // The most powerful real-time 3D creation tool – Unreal Engine. [Електронний ресурс] –

Режим доступа: <https://www.unrealengine.com/en-US/blog/introducing-the-matrix-awakensan-unreal-engine-5-experience> (дата звертання: 25.11.2025).

10. The Matrix Awakens: An Unreal Engine 5 Experience // Unreal Engine. [Електронний ресурс] – Режим доступа: <https://youtu.be/WU0gvPcc3jQ> (дата звертання: 26.11.2025).

11. Electric Dreams and the Rivian R1T | UE5.2 Demo. [Електронний ресурс] – Режим доступа: <https://youtu.be/dYk7byKHSRw> (дата звертання: 27.11.2025).

12. Creating and Using LODs // The most powerful real-time 3D creation tool – Unreal Engine. [Електронний ресурс] – Режим доступа: https://dev.epicgames.com/documentation/en-us/unreal-engine/unreal-engine-5-3-documentation?application_version=5.3 (дата звертання: 28.11.2025).

13. LODs in Unreal Engine (Level of Detail) (UE4) // LODs in Unreal Engine (Level of Detail) (UE4). [Електронний ресурс] – Режим доступа: <https://www.chrismccole.com/blog/lods-unreal-engine-4> (дата звертання: 29.11.2025).

14. World Partition – Hierarchical Level of Detail // The most powerful real-time 3D creation tool. [Електронний ресурс] – Режим доступа: https://dev.epicgames.com/documentation/en-us/unreal-engine/unreal-engine-5-3-documentation?application_version=5.3 (дата звертання: 01.12.2025).

15. Hierarchical Level of Detail Outliner // The most powerful real-time 3D creation tool. [Електронний ресурс] – Режим доступа: https://dev.epicgames.com/documentation/en-us/unreal-engine/hierarchical-level-of-detail-outliner-in-unreal-engine?application_version=5.5 (дата звертання: 02.12.2025).

16. Creating HLODs in Unreal engine 5 without world partition. [Електронний ресурс] – Режим доступа: https://youtu.be/yuaY_Q7EIUM (дата звертання: 03.12.2025).

17. Nanite Virtualized Geometry // The most powerful real-time 3D creation tool. [Електронний ресурс] – Режим доступа:

https://dev.epicgames.com/documentation/en-us/unreal-engine/nanite-virtualized-geometry-in-unreal-engine?application_version=5.5 (дата звертання: 04.12.2025).

18. Nanite | Inside Unreal // Unreal Engine. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://youtu.be/TMorJX3Nj6U> (дата звертання: 05.12.2025).

19. Як робляться моделі для AAA-ігор. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://may.jar.v.ua/go.html?/articles/jak-robiti-modeli-do-igor.html> (дата звертання: 06.12.2025).

20. Що таке фотограмметрія, як вона допомагає зберегти українську спадщину і чим корисна для геймдеву. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://gamedev.dou.ua/blogs/skeiron-developer-about-photogrammetry/> (дата звертання: 07.12.2025).

21. Skorenkyu, Yu., Kozak, R., Zagorodna, N., Kramar, O., Baran, I. Use of augmented reality-enabled prototyping of cyber-physical systems for improving cybersecurity education. *Journal of Physics: Conference Series.*, 2021, 1840(1), 012026. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1840/1/012026/pdf>.

22. Zagorodna, N., Skorenkyu, Y., Kunanets, N., Baran, I., Stadnyk, M. Augmented Reality Enhanced Learning Tools Development for Cybersecurity Major. *CEUR Workshop Proceedings.*, 2022, 3309, pp. 25–32. <https://ceur-ws.org/Vol-3309/short1.pdf>.

23. Ivan Stefanyshyn, Oleh Pastukh, Volodymyr Stefanyshyn, Ihor Baran, and Igor Boyko. Robustness of AI algorithms for neurocomputer interfaces based on software and hardware technologies. *CEUR Workshop Proceedings.*, 2024, 3742, pp. 137–149. <https://ceur-ws.org/Vol-3742/paper10.pdf>.

24. Сьогодні UA [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.segodnya.ua/lifestyle/fun/pochti-kak-u-googlechemudivlyayut-ofisy-ukrainskih-it-kompaniy--764025.html> (дата звертання 10.12.2025).

25. Як працюють в Google? Умови, в яких хочеться трудитися. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.clevers.com.ua/articles-cleveradvertising-agency/success-stories/245-google2> (дата звертання 10.12.2025).

26. Офіс мрії: Робота в компанії Google. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://bigpicture.ua/?p=187580> (дата звертання 11.12.2025).
27. Офіс Facebook: Репортаж із RMA SiliconTrip. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://habrahabr.ru/company/rma/blog/103800/> (дата звертання 11.12.2025).
28. Класифікатор професій ДК 003:2010. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/va327609-10> (дата звертання 11.12.2025).
29. Закон України «Про охорону праці». [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12> (дата звертання 12.12.2025).
30. ДНАОП 0.00-8.20-99. Порядок проведення експертизи електроустановок споживачів/ [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://dnaop.com/html/43255/doc-%D0%94%D0%9D%D0%90%D0%9E%D0%9F_0.00-8.20-99 - (дата звертання 12.12.2025).
31. Безпека в надзвичайних ситуаціях. Методичний посібник для здобувачів освітнього ступеня «магістр» всіх спеціальностей денної та заочної (дистанційної) форм навчання / укл.: Стручок В. С. Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2022. 156 с.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А
Тези конференції

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ

МАТЕРІАЛИ

ХІІ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ

**«ІНФОРМАЦІЙНІ МОДЕЛІ,
СИСТЕМИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ»**



17-18 грудня 2025 року

ТЕРНОПІЛЬ
2025

D. Marchuk, V. Tymoshchuk SECURITY ARCHITECTURE FOR THE 5G CORE BASED ON VIRTUALIZED NETWORK FUNCTIONS AND HARMONIZED POLICIES	
Т. Маслянка, Ю. Олійник, Н. Загородна ОБМЕЖЕННЯ СТАНДАРТНИХ МЕТРИК ЕФЕКТИВНОСТІ XDR-СИСТЕМ ПРИ АНАЛІЗІ ФІШІНГОВИХ КАМПАНІЙ T. Maslianka, Yu. Oliinyk, N. Zagorodna LIMITATIONS OF STANDARD EFFICIENCY METRICS OF XDR SYSTEM IN ANALYZING PHISHING CAMPAIGNS	62
А. Мельник, Л. Дмитроца АЛГОРИТМІЧНА ОПТИМІЗАЦІЯ ПОКРИТТЯ СТАНІВ МОБІЛЬНИХ ДОДАТКІВ НА ОСНОВІ ГРАФО-ОРІЄНТОВАНОГО ПІДХОДУ A. Melnyk, L. Dmytrotsa ALGORITHMIC OPTIMIZATION OF STATE COVERAGE IN MOBILE APPLICATIONS BASED ON GRAPH-ORIENTED APPROACH	63
Р. Міндзіброцький ПЕРЕВАГИ АДАПТИВНИХ СИСТЕМ БЕЗПЕКИ НАД СТАТИЧНИМИ ПРАВИЛАМИ ФІЛЬТРАЦІЇ В ІОТ-МЕРЕЖАХ R. Mindzibrodskyi ADVANTAGES OF ADAPTIVE SECURITY SYSTEMS OVER STATIC FILTERING RULES IN IOT NETWORKS	64
П. Містерман, М. Петрик РОЗРОБКА МАЛОЇ МОВНОЇ МОДЕЛІ SLM ДЛЯ СИСТЕМ З ОБМЕЖЕНИМИ ОБЧИСЛЮВАЛЬНИМИ РЕСУРСАМИ НА БАЗІ AZURE ML ТА AI FOUNDRY P. Misterman, M. Petryk DEVELOPMENT OF A SMALL LANGUAGE MODEL (SLM) FOR RESOURCE- CONSTRAINED SYSTEMS BASED ON AZURE ML AND AI FOUNDRY	65
І. Містерман СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЮ БЕЗПЕКОЮ ДЕРЖАВНОЇ УСТАНОВИ НА ОСНОВІ РЕЗУЛЬТАТІВ ІНСТРУМЕНТАЛЬНОГО ОЦІНЮВАННЯ CSET I. Misterman INFORMATION SECURITY MANAGEMENT SYSTEM OF A GOVERNMENT INSTITUTION BASED ON THE RESULTS OF THE CSET INSTRUMENTAL ASSESSMENT	66
С. Мостовий, А. Северін ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АНАЛІЗУ ТЕКСТУ НА ВИЯВЛЕННЯ ПРОПАГАНДИ S. Mostovyi, A. Severin INTELLIGENT TEXT ANALYSIS SOFTWARE FOR PROPAGANDA DETECTION	67
А. Музичук СУЧАСНІ СИСТЕМИ КОМП'ЮТЕРНОГО ЗОРУ В МЕДІАІНДУСТРІЇ A. Muzychuk MODERN COMPUTER VISION SYSTEMS IN THE MEDIA INDUSTRY	68
С. Ожанський МАСШТАБНІ ІМЕРСИВНІ ЗАНУРЕННЯ S. Ozhanskyi LARGE-SCALE IMMERSIVE EXPERIENCES	69
С. Ожанський МОЖЛИВОСТІ UNREAL ENGINE 5 ДЛЯ СТВОРЕННЯ ІМЕРСИВНИХ СЕРЕДОВИЩ	70

МАСШТАБНІ ІМЕРСИВНІ ЗАНУРЕННЯ**LARGE-SCALE IMMERSIVE EXPERIENCES**

Масштабні імерсивні занурення (МІЗ) – це великі віртуальні світи, які створюють ілюзію повного занурення користувача в альтернативну реальність. Вони характеризуються високим ступенем деталізації, інтерактивністю та реалістичністю, що часто реалізуються за допомогою сучасних технологій віртуальної і доповненої реальностей та ігрового рушія, зокрема Unreal Engine 5 [1]. Їхня головна мета - забезпечити безпрецедентний рівень реалізму та занурення користувачів у створені віртуальні світи. МІЗ відносяться до створення великих, надзвичайно деталізованих та комплексних віртуальних світів, які потребують значних обчислювальних ресурсів для забезпечення високого рівня реалізму та безперешкодної взаємодії.

Ключові характеристики таких проєктів наведені нижче.

Високий ступінь реалістичності: використання передових графічних технологій для створення фотореалістичних зображень; просунуті технології освітлення та тіней.

Інтерактивність та динамічна взаємодія: можливість користувачам взаємодіяти з об'єктами та персонажами у реальному часі; реалізація фізики та анімації, що дозволяють створити відчуття природного руху та взаємодії.

Широкомасштабні віртуальні світи: створення великих відкритих світів із високим ступенем деталізації; оптимізація та стримінг контенту для підтримки продуктивності на високому рівні.

Інноваційні інтерфейси користувача (UI): інтуїтивно зрозумілі та зручні для користувача інтерфейси; використання жестів, голосових команд та інших методів введення взаємодії.

Розраховані на багато користувачів і соціальні аспекти: можливість спільної взаємодії та спілкування з іншими користувачами у віртуальному просторі; створення соціально-орієнтованих сценаріїв та подій.

Необхідно навести вимоги до МІЗ.

Продуктивність та оптимізація: ефективне використання ресурсів апаратного забезпечення; оптимізація графіки та коду для забезпечення плавної роботи без затримок

Якість контенту: висока якість моделей, текстур та анімацій; створення різноманітного та деталізованого контенту для повного занурення.

Сумісність та доступність: підтримка різних платформ та пристроїв; врахування особливостей різних пристроїв та забезпечення комфортного використання на всіх підтримуваних платформах.

Безпека та конфіденційність: забезпечення захисту користувачів; запобігання потенційним загрозам безпеці у віртуальному просторі.

Досвід користувача (UX): забезпечення інтуїтивно зрозумілого та захоплюючого користувацького досвіду; регулярне тестування та покращення інтерфейсів та взаємодій на основі відгуків користувачів.

Література

1. Pushing the boundaries of immersion and storytelling: A technical review of Unreal Engine, [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://doi.org/10.1016/j.displa.2025.103268> (дата звертання: 20.11.2025).

УДК 004.94

С. Ожанський

(Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна)

МОЖЛИВОСТІ UNREAL ENGINE 5 ДЛЯ СТВОРЕННЯ ІМЕРСИВНИХ СЕРЕДОВИЩ

UDC 004.94

S. Ozhanskyi

THE POSSIBILITY OF UNREAL ENGINE 5 TO CREATE OF IMMERSIVE ENVIRONMENTS

Створення високоякісних імерсивних середовищ потребує величезних обчислювальних ресурсів. Розробка масштабних віртуальних світів, здатних плавно працювати на різноманітному устаткуванні, стає дедалі складнішим завданням. Одним з провідних інструментів для створення таких програм є ігровий рушій Unreal Engine (UE) 5 від Epic Games [1]. Нова версія, випущена у 2021 році, пропонує безліч інноваційних технологій для створення ігор та інших інтерактивних програм.

Переваги UE 5 такі.

Висока якість графіки: Nanite, технологія віртуалізованої геометрії дозволяє створювати високодеталізовані сцени з мільйонами полігонів без значних втрат продуктивності; Lumen, система глобального висвітлення у реальному часі, що забезпечує реалістичне висвітлення та відображення.

Продуктивність та оптимізація: нова система збирання даних, покращена обробка асетів дозволяє швидше завантажувати та обробляти великі обсяги даних; процедурне створення контенту, можливість автоматизації та генерації ігрових світів та рівнів.

Інструменти та робочі процеси: Metasounds, система аудіо, що надає повний контроль над створенням та редагуванням звуків; Animation Motion Waring, покращені інструменти для анімації, що забезпечують більш плавні та реалістичні рухи персонажів.

Підтримка нових технологій: повна підтримка створення контенту для VR / AR; інтеграція з Quixel Megascans. Доступ до величезної бібліотеки високоякісних 3D -сканів для використання у проектах.

Відкритість і доступність: Blueprints, візуальне програмування, що дозволяє створювати складні ігрові механіки без написання коду; C++ API, для більш просунутих користувачів, забезпечуючи повний контроль та кастомізацію.

Можливості UE 5: створення масштабних ігрових світів. Використання процедурних інструментів для створення великих відкритих просторів і міст; імерсивні VR/AR досліді. Оптимізація продуктивності для створення занурень у VR/AR; кросплатформова технологія. Підтримка безлічі платформ, включаючи ПК, консолі, мобільні пристрої та Інтернет; фотореалістична візуалізація. Використання можливостей Nanite та Lumen для досягнення кінематографічної якості графіки; інтерактивні симуляції та візуалізації. Застосування в архітектурі, дизайні, навчанні та інших галузях.

Завдяки інноваційним технологіям рендерингу, розвиненим інструментам розробки, мультиплатформній підтримці та відкритості, UE 5 забезпечує створення вражаючих імерсивних середовищ з високою деталізацією та продуктивністю навіть у масштабних проектах. Однак для ефективного використання цих та інших можливостей потрібні глибокі знання архітектури рушія та методів оптимізації продуктивності.

Література

1. Unreal Engine 5. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.unrealengine.com/en-US/unreal-engine-5> (дата звертання: 27.11.2025).