

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**

Факультет геоінформаційних систем та управління територіями  
(факультет)

Кафедра геоінформатики і фотограмметрії  
(назва кафедри)

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

на тему:

Симуляція інтенсивності лазерного променя в середовищі віртуального  
лазерного сканера

Авраменко Костянтин Олександрович  
(прізвище, ім'я, по батькові студента повністю)

Київ 2020 р.

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**

Факультет геоінформаційних систем та управління територіями  
(факультет)

Кафедра геоінформатики і фотограмметрії  
(назва кафедри)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**  
Завідувач кафедри  
проф., д-р. техн.наук Карпінський Ю.О.  
“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2020 року

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

на тему:

**Симуляція інтенсивності лазерного променя в середовищі віртуального  
лазерного сканера**

Виконав: студент групи ПІСТ-61  
спеціальності 193  
“Геодезія та землеустрій”  
спеціалізації “Геоінформаційні системи і  
технології”  
Авраменко Костянтин Олександрович  
Керівник: Ас. Горковчук Д.В.

Київ 2020 р.

**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. Нестерненко О. В.  
„\_\_\_” \_\_\_\_\_ 2020 року

**З А В Д А Н Н Я  
ДО ВИКОНАННЯ АТЕСТАЦІЙНОЇ ВИПУСКНОЇ РОБОТИ  
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА**

Авраменко Костянтин Олександрович  
(прізвище, ім'я та по батькові студента)

**1. Тема роботи:** "Симуляція інтенсивності лазерного променя в середовищі віртуального лазерного сканера", затверджена наказом ректора КНУБА № \_\_\_\_\_ від \_\_\_\_\_ 2020 року.

**2. Керівник роботи:** Горковчук Денис Вікторович, ас, к.т.н.  
(прізвище, ім'я та по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

**3. Строк подання студентом роботи до захисту 07.12.2020**

**4. Зміст пояснювальної записки за розділами:**

- Р. 1. Огляд сфери віртуального навчання та віртуальної симуляції.
- Р. 2. Методичні засади розроблення віртуальної симуляції лазерного променя.
- Р. 3. Реалізація симулятора лазерного променя в середовищі Unreal Engine.

**5. Графічний матеріал за розділами:**

- Р. 1. UML діаграма «Огляд і типізація задач».
- Р. 2. Технологічна схема роботи лазерного променя; Технологічна схема реалізації лазерного променя; Технологічна схема визначення інтенсивності лазерного променя.
- Р. 3. Реалізація лазерного променя в середовищі Blueprint Unreal Engine; Знаходження відстані в середовищі Blueprint Unreal Engine; Знаходження координат в середовищі Blueprint Unreal Engine; Визначення кута падіння променя в середовищі Blueprint Unreal Engine; Знаходження відбивної здатності матеріалу в середовищі Blueprint Unreal Engine; Розрухунок шуму в середовищі Blueprint Unreal Engine; Знаходження інтенсивності лазерного променя в середовищі Blueprint Unreal Engine; Реалізація функцій лазерного променя на мові «Blueprint Visual Scripting»; Візуалізація лазерного променя і результатів у правому верхньому куті в середовищі «Unreal Engine»; Реалізація симуляції хмари точок на мові «Blueprint Visual Scripting»; Візуалізація хмари точок в середовищі «Unreal Engine».

## 6. Календарний план виконання роботи:

Види робіт та їх зміст	Дата виконання
Розділ 1. Огляд сфери віртуального навчання та віртуальної симуляції. Види віртуальних технологій. Технічні засоби та інструменти їх реалізації. Досвід впровадження віртуальних технологій в навчанні. Технології віртуальної реальності в сфері лазерного сканування та аналіз програмних засобів віртуального симулятора наземного лазерного сканера. Визначення задач дослідження. Висновки до розділу 1.	30.09.2020
Розділ 2. Методичні засади розроблення віртуальної симуляції лазерного променя. Технологічна схема роботи лазерного променя. Розроблення функціональної моделі лазерного променя. Висновки до розділу 2.	15.10.2020
Розділ 3. Реалізація симулятора лазерного променя в середовищі Unreal Engine. Налаштування середовища Unreal Engine для роботи з хмарами точок. Реалізація функцій лазерного променя на мові «Blueprint Visual Scripting. Оцінка результатів симуляції. Висновки до розділу 3.	15.11.2020
Остаточне оформлення роботи	02.12.2020
Направлення роботи на рецензування, перевірку на плагіат	03.12.2020
Попередній захист роботи на кафедрі	10.12.2020

## 7. Консультанти розділів атестаційної випускної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Перевірів	
		дата	підпис
Розділ 1			
Розділ 2			
Розділ 3			
Розділ 4			

8. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

Зав. кафедри \_\_\_\_\_ Карпінський Ю.О.

Керівник \_\_\_\_\_ Горковчук Д.В.

Студент \_\_\_\_\_ Авраменко К.О.

<b>РЕЗЮМЕ (summary)</b> <i>до атестаційної випускної роботи студента:</i>		<b>Авраменко Костянтин</b> <b>Олександрович</b>	
<i>ЗВО</i>	Київський національний університет будівництва і архітектури		
<i>Тема</i>	Симуляція інтенсивності лазерного променя в середовищі віртуального лазерного сканера		
<i>Освітній ступінь</i>	Магістр за освітньо-професійною програмою навчання		
<i>Факультет</i>	Геоінформаційних систем та управління територіями		
<i>Кафедра</i>	Геоінформатики і фотограмметрії		
<i>Спеціальність</i>	193 Геодезія та землеустрій		
<i>Спеціалізація</i>	Геоінформаційні системи і технології		
<i>Керівник</i>	Горковчук Д.В., к.т.н., доцент		
<i>Обсяг роботи:</i>	<i>пояснювальна записка,</i> <i>стор.</i>	<i>розділів</i>	<i>рисунків</i>
	84	3	78
<i>Розділ 1</i>	Було проведено огляд сфери віртуального навчання та віртуальної симуляції. Види віртуальних технологій. Технічні засоби та інструменти їх реалізації. Досвід впровадження віртуальних технологій в навчанні. Технології віртуальної реальності в сфері лазерного сканування та аналіз програмних засобів віртуального симулятора наземного лазерного сканера.		
<i>Розділ 2</i>	Розглянуто основі технології тривимірного лазерного сканування. На основі методичних засад було розроблено технологічну схему роботи лазерного променя. Розглянуто принцип роботи скануючої системи. Було розроблено функціональну модель лазерного променя. Розроблено технологічну схему реалізації лазерного променя. Розроблено технологічну схему визначення інтенсивності лазерного променя.		
<i>Розділ 3</i>	Було розглянуто налаштування середовища Unreal Engine для роботи з хмарами точок. Виконана реалізація функцій лазерного променя на мові «Blueprint Visual Scripting» серед яких: (Визначення довжини променя. Визначення кута падіння від нормалі об'єкта до випущеного променя. Визначення координат. Визначення матеріалу та відбивну здатність матеріалу. Розрахована інтенсивність лазерного променя за формулою). Також було розроблено симуляцію хмари точок на мові «Blueprint Visual Scripting». Проведена оцінка результатів симуляції;		
<i>Висновки по роботі:</i>	Лазерні сканери все ще дуже дорогі, і навряд чи вони стануть значно доступнішими в осяжному майбутньому. Однак існують випадки використання, коли може бути можливо замінити роботу справжнього лазерного сканера комп'ютерним моделюванням, що призведе до значного зменшення витрат та зусиль. Якщо фокус зацікавленості в операції лазерного сканування полягає в отриманні якихось конкретних реальних даних, це ніколи не може бути замінено імітацією. Однак у дослідженнях лазерного сканування є		

	<p>багато питань, відповіді на які полягають не у фактичному змісті захоплених даних, а в їх структурних характеристиках, і їх цілком можна відтворити в змодельованому середовищі. Можливими випадками використання симулятора лазерного сканування є, наприклад, дослідження та планування стратегій сканування, навчання та навчання лазерного сканування.</p> <p>Тобто в найближчому майбутньому перспективність і темпи впровадження технологій VR/AR/MR будуть зростати. Також засоби навчання розроблені на основі віртуальної реальності стануть вагомю частиною навчання.</p>
<p><b>Ключові слова:</b> віртуальна реальність, лазерний сканування, віртуальний симулятор, лазерний промінь, Unreal Engine, візуальне програмування «Блупринт».</p>	
<p><b>Keywords:</b> virtual reality, laser scanning, virtual simulation, laser ray, Unreal Engine, visual programming</p>	

Укладач: \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ /

Керівник: \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ /

"\_\_" \_\_\_\_\_ 2020

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	8
ВСТУП.....	9
1. Огляд сфери віртуального навчання та віртуальної симуляції .....	11
1.1. Види віртуальних технологій. Технічні засоби та інструменти їх реалізації.....	12
1.2. Досвід впровадження віртуальних технологій в навчанні.....	20
1.3. Технології віртуальної реальності в сфері лазерного сканування та аналіз програмних засобів віртуального симулятора наземного лазерного сканера.....	26
1.4. Визначення задач дослідження.....	33
Висновки до розділу 1.....	35
2. Методичні засади розроблення віртуальної симуляції лазерного променю.....	37
2.1. Технологічна схема роботи лазерного променю.....	38
2.2. Розроблення функціональної моделі лазерного променю.....	42
Висновки до розділу 2.....	44
3. Реалізація симулятора лазерного променю в середовищі Unreal Engine.....	47
3.1. Налаштування середовища Unreal Engine для роботи з хмарами точок.....	48
3.2. Реалізація функцій лазерного променю на мові «Blueprint Visual Scripting».....	52
3.3. Оцінка результатів симуляції.....	81
Висновки до розділу 3.....	83
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	84
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	85
ДОДАТОК.....	86

## **ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ**

VR – віртуальна реальність;

AR – доповнена реальність;

MR – змішана реальність;

XR – розширена реальність;

VIO – візуальна інерціальна одометрія (Visual Inertial Odometry);

UE – unreal engine(ігровий двигун)

RiVR – Reality in Virtual Reality Ltd

HELIOS – Heidelberg LiDAR Operations Simulator

НЛС – наземний лазерний сканер

ВЛС – віртуальний лазерний сканер

## ВСТУП

Протягом сотень років традиційні галузеві підходи до навчання полягали у передачі знань та досвіду за допомогою писемних матеріалів, демонстрацій та практичних вправ. Незважаючи на те, що поява комп'ютерів справила великий вплив на багато навчальних програм, вона блідне порівняно з ефектом, яке справляє віртуальне навчання у віртуальній реальності (VR), доповненій реальності (AR), змішаній реальності (MR) та розширеній реальності (XR). Віртуальна реальність дає змогу забезпечити підприємства та установи абсолютно новим середовищем для навчання - таким, яке не потребує довідників чи спеціалізованого фізичного обладнання. Програмне забезпечення для навчання віртуальної реальності може бути створене для імітації будь-якого реального середовища, включаючи все обладнання, предмети та дії, необхідні студенту для отримання основних навичок та знань.

Цінність віртуальної і доповненої реальностей у тому, що вони дозволяють створити середовище, яке сприймається людиною через органи чуття. Фактично, VR/AR/MR/XR дозволяють змоделювати комфортні умови для отримання нових знань, а особливо - для навчання дітей, підлітків та молоді.

Для вирішення деяких перелічених питань в роботі розглянуто застосування віртуального середовища на базі ігрового двигуна «Unreal Engine»

*Метою роботи є* симуляція інтенсивності лазерного променя в середовищі віртуального лазерного сканера.

Для досягнення цієї мети в роботі поставлено та виконано такі основні **завдання**:

1. Огляд сфери віртуального навчання та віртуальної симуляції;
2. Розроблення технологічної і функціональної схеми роботи лазерного променя;
3. Реалізація симулятора лазерного променя в середовищі Unreal Engine

**Об'єкт дослідження:** Об'єктом дослідження є освітні віртуальні

технології і способи їх створення та реалізації.

**Предмет дослідження:** Предметом дослідження є методи та технології розроблення та реалізації віртуального лазерного сканування.

**Методи дослідження:** Принципи об'єктно-орієнтованого програмування; монографічний метод застосовано для опрацювання науково-методичної літератури; методи порівнянь, аналізу, формалізації, моделювання.

**Наукова новизна** результатів роботи полягає у практичній симуляції променю наземного лазерного сканера.

В магістерській роботі вперше:

- розроблено симуляції променю наземного лазерного сканера
- розроблено симуляцію хмари точок наземного лазерного сканера

**Практичне значення:** одержаних результатів полягає у впровадженні результатів роботи у навчальну експлуатацію.

**Структура роботи.** Робота складається із вступу, 3 розділів, висновків, списку використаної літератури. Загальний обсяг роботи 86 сторінок. У тексті міститься 2 таблиці, 78 рисунків.

**РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД СФЕРИ ВІРТУАЛЬНОГО НАВЧАННЯ ТА  
ВІРТУАЛЬНОЇ СИМУЛЯЦІЇ**

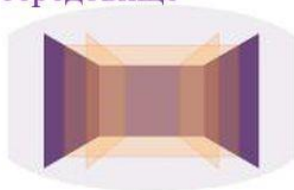
					<b>МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА</b>					
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>	<i>Симуляція інтенсивності лазерного променя в середовищі віртуального лазерного сканера.</i>			<b>Літ.</b>	<b>Арк.</b>	<b>Аркушів</b>
Виконав	Авраменко К.О.									
Консульт.										
Керівник	Горковчук Д.В.									
Зав. каф.	Карпінський Ю.О.									
					КНУБА, група ГІСТ-61			<b>11</b>		

## 1.1. Види віртуальних технологій. Технічні засоби та інструменти їх реалізації.

Технології віртуальної реальності це технології повного або часткового занурення у віртуальний світ або різні види змішання реальної і віртуальної реальності. Віртуальні технології також називають технологіями розширеної реальності. До їх списку входить віртуальна, доповнена реальність та змішана реальність. Вони забезпечують ефект повного або часткового присутності в альтернативному просторі і тим самим змінюють призначений для користувача досвід в абсолютно різних сферах

### ВІРТУАЛЬНА РЕАЛЬНІСТЬ (VR)

Повністю штучне середовище



Повне занурення в віртуальне середовище



### ДОПОВНЕНА РЕАЛЬНІСТЬ (AR)

Віртуальні об'єкти, накладені на реальне середовище



Реальний світ розширений цифровими об'єктами



### ЗМІШАНА РЕАЛЬНІСТЬ (MR)

Віртуальне середовище в поєднанні з реальним світом



Взаємодія з реальним та віртуальним середовищем одночасно

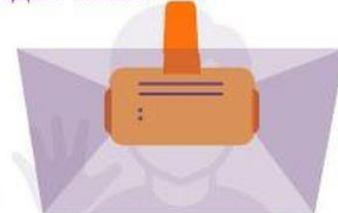


Рис. 1.1. графічна класифікація (VR/AR/MR)

**Віртуальна реальність** (VR, virtual reality, VR, штучна реальність) - створений технічними засобами світ, який передається людині через її відчуття: зір, слух, дотик та інше. Віртуальна реальність імітує як вплив, так і реакції на вплив. Для створення переконливого комплексу відчуттів реальності комп'ютерний синтез властивостей і реакцій віртуальної реальності

проводиться у реальному часі. Використовуючи технології, платформи та VR-пристрої, такі як HTC Vive, Oculus Rift, Google Cardboard, OculusGear VR, PlayStation VR, Unity та Unreal Engine, користувачі можуть переноситися в низку реальних і уявних середовищ.



Рис. 1.2. Приклад застосування віртуальної реальності(VR) в медицині.



Рис. 1.3. Окуляри віртуальної реальності (VR)

На даному етапі розвитку технологій VR серед них можна виділити наступні типи:

*Технології VR з ефектом повного занурення*, що забезпечують правдоподібну симуляцію віртуального світу з високим ступенем деталізації. Для їх реалізації необхідний високопродуктивний комп'ютер, здатний розпізнавати дії користувача і реагувати на них в режимі реального часу, і спеціальне обладнання, що забезпечує ефект занурення.

*Технології VR без занурення*. До них відносяться симуляції із зображенням, звуком і контролерами, що транслюються на екран, бажано широкоформатний. Такі системи зараховують до віртуальної реальності, оскільки за ступенем впливу на глядача вони набагато перевершують інші засоби мультимедіа, хоча і не реалізують повною мірою вимоги, що пред'являються до VR.

*Технології VR зі спільною інфраструктурою*. До них можна віднести Second Life - тривимірний віртуальний світ з елементами соціальної мережі, який налічує понад мільйон активних користувачів, гру Minecraft і інші. Такі світи не забезпечують повного занурення (втім, у Minecraft вже існує версія для віртуальної реальності, що підтримує шоломи Oculus Rift і Gear VR). Але у віртуальних світах добре організована взаємодія з іншими користувачами, чого часто не вистачає у продуктів «справжньої» віртуальної реальності.

Забезпечення повного занурення і, одночасно, взаємодії користувачів в віртуальності є одним з важливих напрямків розвитку VR.

*VR на базі інтернет-технологій*. До них відноситься перш за все мова Virtual Reality Markup Language, аналогічний HTML. Зараз ця технологія вважається застарілою, але, не виключено, в майбутньому віртуальна реальність буде створюватися в тому числі - з використанням інтернет-технологій.<sup>1,2</sup>

**Доповнена реальність** (augmented reality, AR - «доповнена реальність») - результат введення в поле сприйняття будь-яких сенсорних даних з метою доповнення відомостей про оточення і поліпшення сприйняття інформації тобто додає цифрові елементи до перегляду в реальному часі за допомогою наприклад, камери на смартфоні. На відміну від VR (Virtual Reality), яка

вимагає повного занурення у віртуальне середовище, AR використовує середовище навколо нас та просто накладає поверх нього певну частинку віртуальної інформації, наприклад графіку, звуки та реакцію на дотики. Оскільки віртуальний та реальний світи гармонійно співіснують, користувачі з досвідом доповненої реальності мають змогу спробувати цілком новий, покращений світ, де віртуальна інформація використовується як додатковий корисний інструмент, що забезпечує допомогу в повсякденній діяльності.

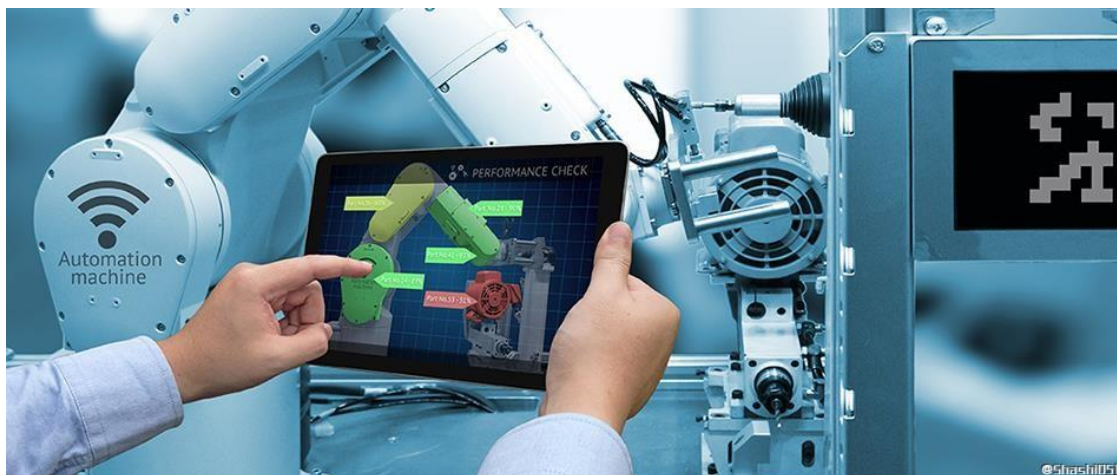


Рис. 1.4. Приклад доповненої реальності (AR)

Є декілька різних технологій, які використовуються для роботи AR:

*Доповнена реальність, що базується на маркерах.* Деколи її також називають розпізнаванням зображень. Цей тип технології використовує камеру та спеціальний пасивний візуальний маркер, наприклад QR-код (quick response code – код швидкого відгуку), який показує запрограмований результат лише тоді, коли сенсор його зчитує. Таким чином вдається вирізати віртуальні об'єкти з реального світу

*Безмаркерна доповнена реальність.* Інколи її ще називають координатно-, або GPS-орієнтованою. Щоб надати дані про ваше місцеперебування, вона може використовувати систему глобального позиціонування (GPS – Global Positioning System), цифровий компас, датчик швидкості або акселерометр, якими оснащено ваш пристрій. Завдяки масовому розповсюдженню смартфонів та планшетів ця технологія використовується найчастіше на даний момент. Найпоширеніші випадки використання – це позначення напрямків, пошук

потрібних місць, таких як кафе чи офіс, або ж у додатках, що орієнтовані на місце розташування.

*Доповнена реальність що базується на проєкції.* Вона працює шляхом проєктування світлових проєкцій на фізичні поверхні. Спеціальні додатки допомагають здійснювати взаємодію між людиною та проєкцією, визначаючи моменти дотику людини до світла, яке проєктується. Це досягається за допомогою порівняння очікуваної проєкції та зміненої певними перешкодами, наприклад через дотик рукою. Ще один цікавий спосіб – застосування плазмової технології, завдяки якій можна створювати тривимірні проєкції в просторі.

*Доповнена реальність, що базується на VIO.* Візуальна інерціальна одометрія (Visual Inertial Odometry) – це технологія, яка допомагає відслідковувати позицію та орієнтуватися в просторі за допомогою сенсорів та камери. Завдяки цьому можливо створити точну 3D-модель простору навколо пристрою, оновлювати її в реальному часі, визначати в ній положення, передавати ці дані всім додаткам та накладати поверх неї додаткові шари. Можливості цієї технології насправді унікальні: можна вимірювати відстані, вставляти різноманітні об'єкти в інтер'єр та взаємодіяти з ними. VIO обіцяє стати найперспективнішою технологією в AR, на даний момент її використовують такі гіганти, як компанія Google в своєму Project Tango та компанія Apple в ARKit.

**Змішана реальність (MR)** - поєднує елементи AR та VR, реальні та цифрові об'єкти взаємодіють тобто відбувається проєктування тривимірних віртуальних об'єктів або голограм на фізичний простір.



Рисунок 1.6. Спектр змішаної реальності

Це дозволяє переміщатись навколо віртуального об'єкту, оглядати його з усіх боків і, за необхідності, всередині. Вимагає, як правило, спеціального обладнання (окулярів або шоломів).[1] Віртуальні образи привносяться у фізичний простір, візуалізуються і розташовуються, відповідно предметів реальності так, щоб вони сприймалися як реально існуючі. Людина продовжує взаємодіяти з фізичним світом, у якому, в той же час, присутні віртуальні об'єкти, іноді майже неможливо відрізнити від реальних.[2]Технологія змішаної реальності тільки зараз починає розвиватися завдяки HoloLens від Microsoft.

*Існують 2 види змішаної реальності:*

- віртуальні об'єкти не просто накладаються на живий реальний світ, але можуть також взаємодіяти з ним. У цьому випадку користувач залишається в реальному середовищі, тоді як до нього додають цифровий вміст; користувач може взаємодіяти з віртуальними об'єктами. Цю форму змішаної реальності можна вважати розвиненою формою AR. Відомим змішаної реальності є Microsoft HoloLens;

- цифрове середовище, яке прив'язане до живого реального світу та майже повністю заміщує його. У цьому випадку користувач повністю занурюється в штучне середовище. Відмінність з віртуальною реальністю в тому, що цифрові об'єкти накладаються на реальні, тоді як у випадку звичайного VR – середовище не пов'язане з реальним світом навколо користувача. Щоб випробувати цю форму змішаної реальності, можна користуватись гарнітурами змішаної реальності Windows [3].



Рис. 1.5. Приклад змішаної реальності (MR)

**Розширена реальність (XR)** - це загальний термін, який охоплює всі різні технології, що покращують наші органи чуття, незалежно від того, надають вони додаткову інформацію про реальний світ або створюють абсолютно нереальні, змодельовані світи, які ми можемо пережити. Він включає технології віртуальної реальності (VR), доповненої реальності (AR) та змішаної реальності (MR).



Рис. 1.6. Порівняльна характеристика технологій розширеної реальності

## **1.2. Досвід впровадження віртуальних технологій в навчанні**

Основною ідеєю використання віртуальної і доповненої реальності є розширення можливостей взаємодії людини з навколишнім середовищем. Для системи освіти віртуальна і доповнена реальність перспективні в плані застосування цих технологій як інноваційних засобів навчання. Сьогодні це переважно тренажери і симулятори, які дозволяють вивчити систему і/або роботу з нею віртуально, що в реальності було би дорого, довго, небезпечно або неможливо з будь-яких причин. Наприклад, зануритися на дно океану, полетіти в космос, вивчити внутрішню будову людини або різні фізичні і хімічні явища. Такі засоби навчання дозволяють отримувати знання і навички до деякої міри незалежно від місця і часу, в комфортних, звичних умовах. Важливою є можливість організації навчання людей з інвалідністю. Для проведення подібного роду занять досить мати персональний комп'ютер і спеціальні окуляри з встановленим необхідним програмним забезпеченням.

Для освітнього процесу особливо важливо застосування VR / AR технологій. Освіта все більше переміщується в інтернет-середовище і стає дистанційною, що актуально враховуючи пандемію «COVID-19». Сучасна освіта вимагає побудови ефективної багаторівневої системи безперервної подачі матеріалу, а якщо це стосується підвищення кваліфікації, то без прямого відриву від виробництва. Ринок починає все більше занурюватися в онлайн-освіту. Обсяг інвестицій і продажу щороку зростає на десятки відсотків.

Аналіз ринку електронних освітніх послуг дозволяє зробити висновок про його значний потенціал.

В світі є попит на розвиток електронних форм онлайн-навчання. Наприклад, платформа Coursera, запущена в 2012 році, набрала 10 млн користувачів до 2014-го, до вересня 2015го - вже 15 млн, а в 2017-му - понад 24 млн користувачів. Обсяг глобального ринку освітніх технологій становить 165 млрд доларів, а за оцінками галузевих аналітиків, в 2018-2023 роках світовий ринок освітніх технологій продовжить зростання більш ніж на 5% в рік.

Таким інструментом-провідником, який, з одного боку, прискорює і підвищує інтерес у студента, а з іншого боку, підвищує конкурентоспроможність електронних курсів, можуть стати VR / ARтехнології в освіті.

Використання технологій віртуальної і доповненої реальності в навчанні дуже перспективне, оскільки вже зараз студенти оперують величезною кількістю інформації, засвоєння якої безпосередньо залежить від ефективності її подачі.

Ідея проекту VR Education полягає в об'єднанні двох технологій: технології онлайн-освіти і технології віртуальної і доповненої реальності. Таким чином, освітній контент розміщується на платформі, яка освоюється студентом за допомогою технологій VR, AR, MR. Дана технологія дозволяє занурювати студента в віртуально створене освітнє середовище, максимально залучаючи його в процес, що дає найбільш високий за ефективністю результат.

Відомими прикладами здійснення дистанційної освіти є:

- Open Course Ware (MIT; Harvard University; Stanford University; USA);
- «Інтуїт» (Росія);
- «Прометеус» (Україна).

VR/AR-технології – це наступний крок в електронній освіті, який зробить навчальний процес більш цікавим і доступним для багатьох верств населення. Застосування технологій віртуальної і доповненої реальності підвищить інтерес студентів, що збільшить якість і кількість засвоюваного семантичного та емпіричного матеріалу.

Розглянемо приклади деяких успішних розробок з використанням даних технологій (табл. 1). У таблиці представлено найбільш популярні втілення доповненої і віртуальної реальності в освіті.

Таблиця 1 – Огляд деяких засобів навчання з використанням технологій  
виртуальної і доповненої реальності

Розробник	Програма	Область вивчення
Hannes Kaufmann and Bernd Meyer	Physics Playground	Фізика, астрономія
Опис: тривимірне середовище з глибоким зануренням, призначена для знайомства з будовою всесвіту, законами фізики і проведення фізичних дослідів в реальному часі.		
Eligo Vision	Eligo Vision	Конструювання
Опис: тривимірний проект зроблений за типом конструктора, викладач має змогу завантажити будь-які матеріали, необхідні для роботи; учні можуть змінювати вже існуючі проекти: будувати моделі міст, візуалізувати формули.		
Tokyo Shoseki	New Horizon	Англійська мова
Опис: відтворює анімацію при наведенні на сторінки підручника.		
-	Meso VR	Історія
Опис: тривимірне графічне середовище дозволяє не тільки побачити реальні археологічні розкопки, а й простежити за хронологією етапів в історії цієї цивілізації.		
SIKE	Віртуальний механік «Гідравлічні насоси»	Механіка
Опис: віртуальний тренажер на основі 3D моделей реального обладнання з високим ступенем деталізації для ефективного підготовки кваліфікованих слюсарів-механіків.		
Empirical Game	Physics Playground	Фізика
Опис: тривимірне середовище з глибоким зануренням, в якій можна експериментувати і краще дізнаватися будову всесвіту.		

Ron Doston	Occupational Safety Scaffolding	Безпека у будівництві
Опис: розробка для професійної освіти; на основі тривимірних AR-моделей показує, як правильно зводити будівельні ліси і підмостки.		
SIKE	3D Атлас «Доменна піч»	Механіка
Опис: віртуальне вивчення пристроїв і принципів роботи агрегатів і обладнання доменного виробництва.		

Слід зазначити, що питання застосування даних технологій в освіті в рамках психолого-педагогічних і техніко-ергономічних аспектів залишаються дискусійними. Це пов'язано з наступними причинами:

1) неправильною оцінкою і відсутністю розуміння можливостей використання віртуальної реальності в освіті (багато людей з самого початку не сприймають цю технологію всерйоз і думають, що вона призначена виключно для розваги, що апріорі невірно);

2) неправильним поданням ергономічних характеристик сучасних апаратних засобів віртуальної і доповненої реальності (одна з найбільш частих помилок, що окуляри віртуальної реальності дуже погано впливають на зір, коли як в даний час вже зроблені певні успіхи у виробництві);

3) слабкою пропрацьованістю психолого-педагогічної бази проектування, реалізації та застосування засобів навчання з використанням віртуальної і доповненої реальності (відсутність методик і чітко побудованих програм обумовлює обережність у використанні таких засобів педагогічним співтовариством або низьку ефективність їх впровадження в освітній процес) [4].

Подальша робота над проблемою дозволила звернути увагу на можливості технології віртуальної і доповненої реальності в організації освітнього процесу.

Актуальність застосування розглянутих технологій в навчанні пов'язана з тим, що вони дозволяють підвищити ефективність цього процесу, при цьому забезпечивши зручність і доступність практично для кожного. Крім того, вони дозволяють легко організувати дистанційне заняття або перевірку знань. Ще один важливий факт полягає в тому, що тенденцією останніх десятиліть є постійне ускладнення різних технічних систем і, як наслідок, збільшення часу і підвищення вимог до рівня підготовки фахівців для роботи з ними. При цьому використання в навчанні реальних виробничих систем має високу вартість і може бути небезпечним для життя і здоров'я. Одним із способів вдосконалення технологій інженерної освіти є застосування систем віртуальної і доповненої реальності, електронних навчальних 3D систем. Це дозволить суттєво скоротити час підготовки, підвищити якість навчання і посилити практичну спрямованість навчального процесу. Однак такі навчальні засоби навчання також є складними системами, розробники яких повинні мати спеціальну підготовку і володіти компетенціями в різних технічних і гуманітарних сферах.

Перспективність і темпи впровадження технологій віртуальної і доповненої реальності свідчать про те, що засоби навчання, розроблені на їх основі, стануть невід'ємною частиною навчання на всіх рівнях освіти, а їх роль значно зросте як в рамках традиційної очної підготовки, так і в рамках електронної освіти.

На сьогоднішній день визначилися наступні напрямки роботи. Перша пов'язана з вивченням технологій віртуальної і доповненої реальності як нового напрямку індустрії інформаційних технологій, основ створення додатків віртуальної і доповненої реальності (VR, AR). Другий напрямок - педагогічне проектування засобів навчання на основі технологій віртуальної і доповненої реальності. Третє - визначення і експериментальна перевірка організаційно-

педагогічних умов ефективного використання таких засобів навчання в освітньому процесі.

Серед головних переваг імерсивних технологій є:

**Наочність.** У віртуальному просторі без перешкод можна деталізовано розглянути будь-який процес або об'єкт, що значно цікавіше, ніж дивитися на картинки у підручнику. Наприклад, через застосунок Anatomyo можна вивчити будову тіла в найменших подробицях, а Operation Apex покаже всі багатства підводного світу.

**Зосередженість.** У віртуальному середовищі людина не відволікатиметься на зовнішні подразники, що дасть змогу повністю сфокусуватися на матеріалі.

**Максимальне залучення.** Імерсивні технології надають можливість повністю контролювати та змінювати сценарій подій. Учень може стати свідком історичних подій, власноруч провести дослід з фізики чи хімії або ж вирішити задачу в ігровій та доступній для розуміння формі.

**Безпека.** За допомогою VR та AR технологій можна провести складну операцію, керувати автомобілем або навіть космічним шатлом, провести дослід з небезпечними хімічними речовинами і при цьому не завдати шкоди ні собі, ні оточенню.

**Результативність.** Вчені Мерілендського університету провели дослідження, під час якого запропонували двом групам людей запам'ятати розташування певних зображень. Під час експерименту одна з груп використовувала шоломи віртуальної реальності, друга — звичайні комп'ютери. При цьому група, яка вивчала зображення за допомогою VR-шоломів, показала результат на 10 % вищий, ніж учасники іншої групи.

Однак, попри очевидні переваги застосування технологій віртуальної реальності в освіті, на сьогодні є чимало потенційних проблем з технологічної точки зору.

По-перше, будь-яка дисципліна є досить об'ємною, що вимагає значних ресурсів для створення контенту на кожну тему заняття – у вигляді повного курсу або десятків і сотень невеликих додатків. Компанії, які створюватимуть

такі матеріали, повинні бути готові займатися розробкою досить тривалий час без можливості її окупити до виходу повноцінних наборів занять.

По-друге, у разі дистанційного навчання навантаження з покупки пристрою віртуальної реальності лягає на користувача, або цим пристроєм може бути його телефон. Але освітнім установам необхідно буде купувати комплекти обладнання для аудиторій, в яких проходитимуть заняття, що також вимагає істотних інвестицій.

По-третє, віртуальна реальність, як і будь-яка технологія, вимагає використання своєї, специфічної мови. Важливо знайти правильні інструменти для того, щоб зробити контент наочним. Крім того, складно буде оновити вже наявні освітні програми. Незважаючи на труднощі, технології віртуальної і доповненої реальності слід застосовувати в сфері освіти в першу чергу тому, що освітня система повинна пристосовуватися до процесів, моделей і теорій, які постійно ускладнюються, а студентам необхідно оперувати великою кількістю інформації і новими способами її подання. Більше того, за прогнозами експертів, дохід від продажу програмного забезпечення для шкіл і вищих навчальних закладів був оцінений в \$ 300 млн. у 2020 р. і в \$ 700 млн. у 2025 р. За найскромнішими підрахунками, система освіти витратить близько п'яти років для закупівлі та введення в експлуатацію 8 млн. пристроїв віртуальної і доповненої реальності [5].

### **1.3. Технології віртуальної реальності в сфері лазерного сканування та аналіз програмних засобів віртуального симулятора наземного лазерного сканера.**

Лазерні сканери все ще дуже дорогі, і навряд чи вони стануть значно доступнішими в осяжному майбутньому. Однак існують випадки використання, коли може бути можливо замінити роботу справжнього лазерного сканера комп'ютерним моделюванням, що призведе до значного зменшення витрат та зусиль.

Для використання віртуального лазерного сканера (ВЛС) не потрібне дороге обладнання, що збільшує доступність навчання. Також нема залежності

від погодніх умов і інших моментів які не дозволяють працювати зі НЛС у польових умовах. Є можливість працювати дистанційно, що дуже актуально на сьогоднішній момент, у зв'язку з пандемією. Також є можливість змінювати характеристики ВЛС, що робить можливим тестувати різні типи сканерів.

Для роботи віртуальної реальності у сфері лазерного сканування потрібно щоб виконувалися деякі вимоги: повинна бути можливість імпортувати, візуалізувати, обробляти, редагувати та взаємодіяти з хмарами точок; повинна бути підтримка основних форматів хмар точок такі як:(.txt. .xyz. .pts. .las); оптимізація, тобто обробка великих обсягів даних без втрати продуктивності та висока якість деталізації.

Приклади існуючих систем це:

Система моделювання лазерного сканування під назвою Heidelberg LiDAR Operations Simulator (HELIOS) - це гнучка багатоцільова система моделювання, яка підтримує багато різних типів дослідницьких проектів лазерного сканування.

Програмне забезпечення «FARO SCENE». Програмне забезпечення спеціально розроблено для лазерних сканерів Focus і для сторонніх виробників.

VR Concept. Програма дозволяє поєднувати в віртуальній реальності 3D-модель з хмарою точок, отриманою в результаті сканування об'єкта.

Reality in Virtual Reality Ltd. (RiVR), розробник VR з Великобританії, пропонує навчальні та освітні програми для всіх галузей.

***Аналіз програмних засобів віртуального симулятора наземного лазерного сканера.***

*Програма «Helios».* Система моделювання лазерного сканування під назвою Heidelberg LiDAR Operations Simulator (HELIOS).

HELIOS гнучка багатоцільова система моделювання, яка підтримує багато різних типів дослідницьких проектів лазерного сканування.

На (рис.1.7.) показано приклад моделювання лазерного сканування

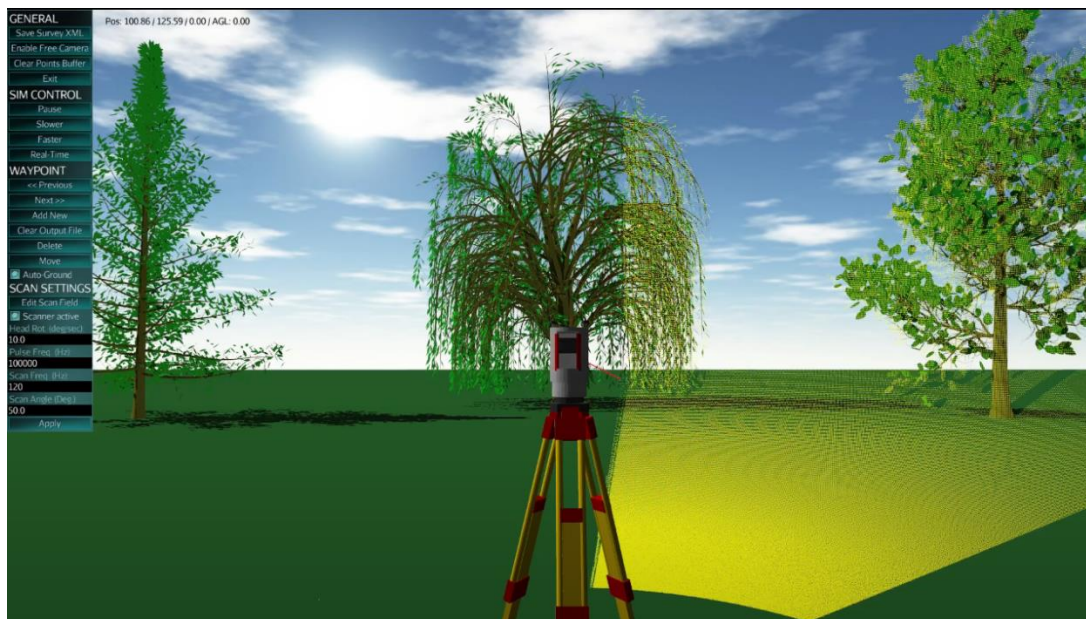


Рис.1.7. віртуальний симуляторНЛС.

Більш конкретно, система розроблена з наступними характеристиками:

- Підтримка багатьох різних типів середовищ (цілі сканування), сканерів, платформ та методів обстеження, як наземних, так і бортових, стаціонарних, а також мобільних.
- Підтримка сцен із справжньою 3D-геометрією. Це є необхідною умовою для реалістичного моделювання TLS.
- Підтримка легкої модифікації та розширення, щоб забезпечити міцну основу для багатьох різних аспектів досліджень лазерного сканування та дозволити "швидке створення прототипів" нових функцій та експериментів.
- Вільне програмне забезпечення з відкритим кодом дозволяє стимулювати велику групу потенційних користувачів спробувати змінити та розширити програму відповідно до їхніх вимог.

Архітектура програмного забезпечення HELIOS написана мовою програмування Java, яка має підтримку мультиплатформи, завдяки чому програмне забезпечення може працювати в операційних системах Windows, Linux та Mac OS. Система розроблена як модульна бібліотека, яка може бути використана для розробки різних типів програм, що використовують її можливості моделювання лазерного сканування.

HELIOS складається з основного пакету та ряду модулів, які виконують різні завдання. Основний пакет містить класи, що моделюють три основні компоненти моделювання: платформу, сцену та сканер. Кожне моделювання, яке запускається за допомогою HELIOS, представляє ряд взаємодій між цими трьома компонентами. Модулі побудовані поверх основних компонентів і забезпечують розширену функціональність для різних завдань.

Платформа, імітує поверхню, на якій встановлений сканер. Усі зміни положення та орієнтації сканера в просторі викликаються та контролюються компонентом платформи. HELIOS реалізує декілька класів платформ, які можуть бути використані для моделювання різних типів літальних апаратів та наземних транспортних засобів, а також стаціонарних платформ. Фактична реалізація конкретної платформи складається з двох частин: класу, який містить логіку для імітації загального типу платформи (наприклад, колісний наземний транспортний засіб або вертоліт) та набір параметрів, що визначають конкретну характеристику платформи (наприклад, маса, максимальна швидкість, положення та положення кріплення сканера тощо).

Сцена, представляє середовище, яке сканується за допомогою імітованого лазерного сканера. Сцена може також вплинути на положення та рух платформи.

Сканер, імітує власне лазерний сканер. Цей компонент складається з трьох завдань: моделювання блоку відхилення променя, моделювання випуску лазерних імпульсів, а також виявлення та обробка відбиття.

Модуль візуалізації забезпечує інтерактивну 3D-візуалізацію запущеного моделювання в режимі реального часу. Він базується на «JMonkey Engine» (JME). На (рис. 1.8) показано чотири різні модуля візуалізації.[6]

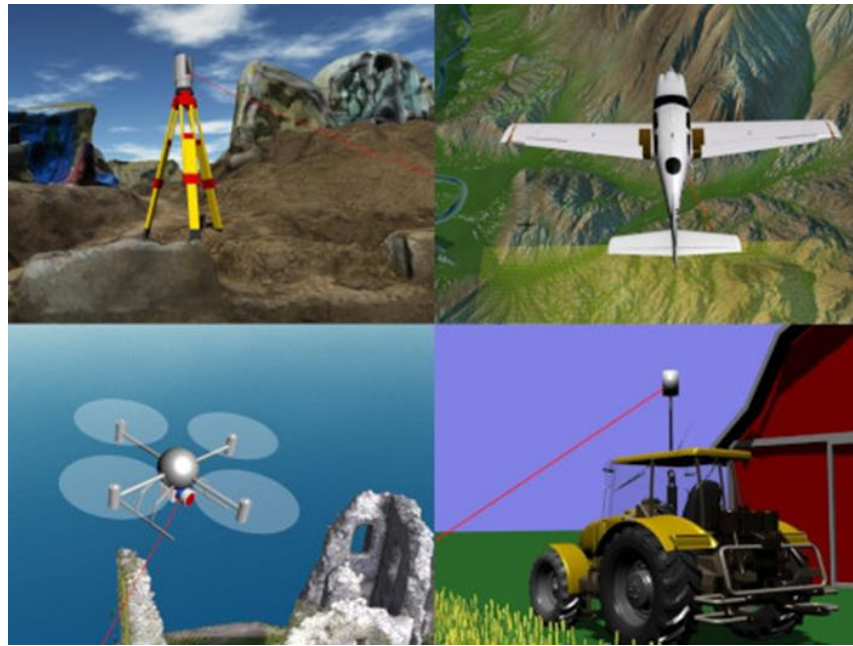


Рис.1.8. Модулі візуалізації.

Програмне забезпечення «*FARO SCENE*». Програмне забезпечення спеціально розроблено для лазерних сканерів Focus і для сторонніх виробників. Програмне забезпечення «*SCENE*» має вражаючий функціонал перегляду проекту в режимі віртуальної реальності, що дозволяє користувачам створювати і оцінювати відскановані дані в середовищі віртуальної реальності.

Підтримка обладнання віртуальної реальності - HTC Vive і Oculus Rift. З його допомогою можна переміщатися по хмарах точок проекту, виконувати вимірювання, читати документацію і робити знімки екрану.(рис.1.9)

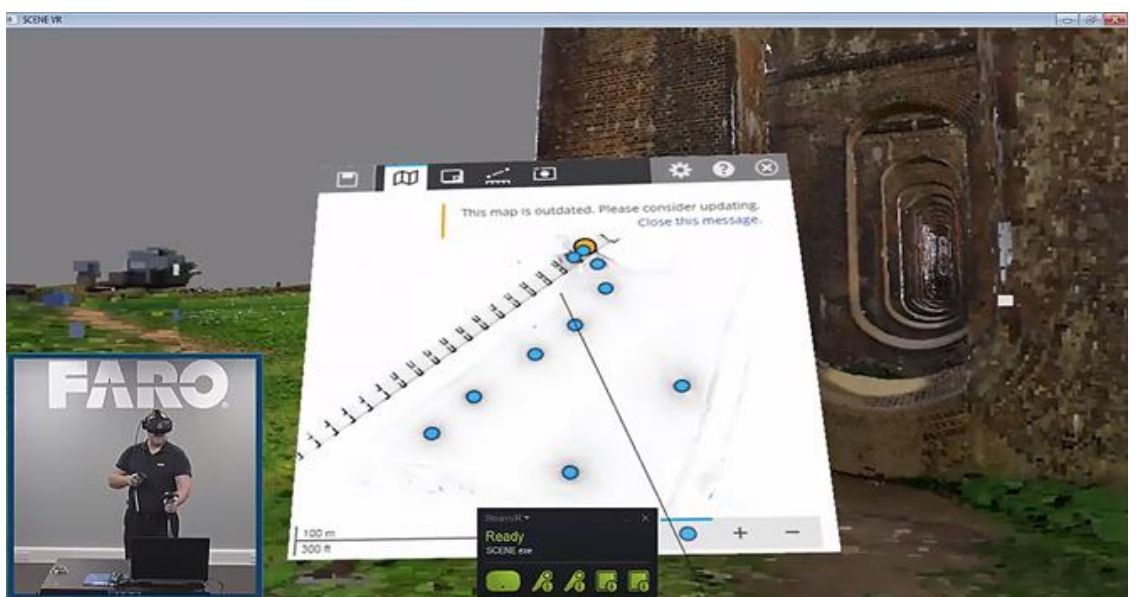


Рис.1.9. Програмне забезпечення «*FARO SCENE*»

*Reality in Virtual Reality Ltd. (RiVR)*, розробник VR з Великобританії, пропонує навчальні та освітні програми для всіх галузей. Навчальні програми, засновані на VR, можуть занурити користувачів у реалістичні ситуації, такі як місця злочину, місця пожежі, місця ДТП, які неможливо легко відтворити в реальному житті.

Відскановані середовища перетворюються на різноманітні формати тривимірних моделей, до яких застосовуються фотореалістичні текстури та візуалізація. Потім ці моделі можна завантажувати на платформу ігрового двигуна, до якої додаються обмеження та сценарії для створення реалістичного ігрового середовища. Завдяки цьому користувач може вільно ходити по простору за допомогою миші та клавіатури. Існує постійно зростаючий спектр застосування продуктів такої природи. Будь то тривимірний тур віртуальної реальності для маркетингових цілей, сценарії запуску навчальних програм або процедури евакуації з пожежі, VR все частіше стає основним напрямком у багатьох сферах нашого повсякденного життя.[7]

Сцени RiVR базуються на реальних пожежах (контрольованих опіках). Під час підготовки до кожного сценарію віртуальної реальності будується реалістичне налаштування, наприклад, кімнати, кухні чи офісу.

Потім вогонь розводять на місці події за допомогою підпалу, короткого замикання електроприладів або, наприклад, впалої свічки. Потім сцена після опіку реєструється за допомогою лазерного сканування та тисяч фотографій. (рис.1.10) [8]

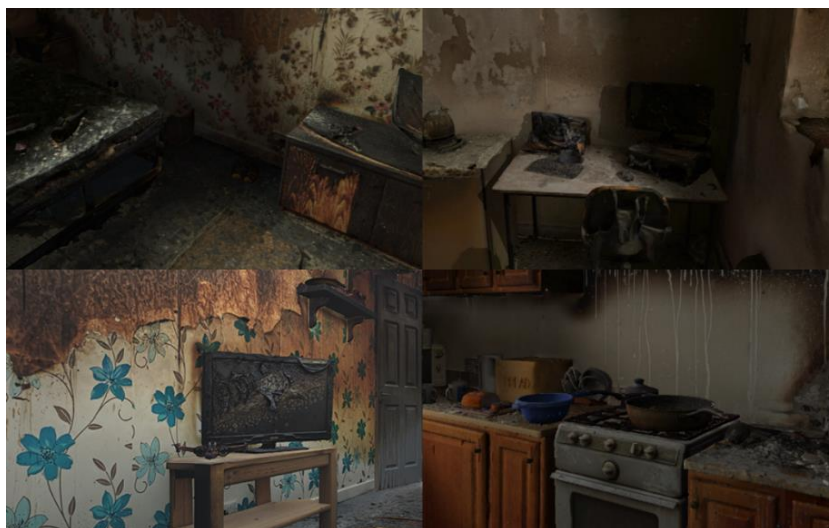


рис.1.10. Сцена Reality in Virtual Reality Ltd.

*VR Concept.* Програма дозволяє поєднувати в віртуальній реальності 3D-модель з хмарою точок, отриманою в результаті сканування об'єкта. Такий підхід ефективний не тільки при відстеженні будівельних робіт і модернізації, а й коли об'єкт є, а його креслень немає.

Новий модуль дає можливість групі фахівців відразу після сканування об'єкта побачити отриману хмару точок в системі віртуальної реальності, вивчити його з усіх боків і поєднати з вихідною моделлю для аналізу відхилень. Найбільш ефективно це робити саме у віртуальній реальності, оскільки вона дозволяє максимально природно сприймати інформацію і взаємодіяти з цифровим об'єктом. (Рис.1.11)



Рис.1.11. VR Concept/

#### 1.4. Визначення задач дослідження

Робота виконувалась в рамках проекту DAAD (Німецька служба академічного обміну) з розроблення віртуального лазерного сканера. Моє основне завдання це симуляція інтенсивності лазерного променя.

Основне завдання це розроблення віртуального симулятора лазерного променя та визначення його інтенсивності і реалізація його в середовищі Unreal engine.

Огляд та типизація задач:

Розроблення технологічної схеми роботи лазерного променя;

Розроблення функціональної схеми роботи лазерного променя;

Налаштування середовища Unreal Engine для роботи з хмарами точок;

Розроблення віртуальної симуляції лазерного променя на мові «Blueprint Visual Scripting»;

Реалізація функцій лазерного променя на мові «Blueprint Visual Scripting», серед яких:

- Визначення довжини променя
  - Визначення кута падіння від нормалі об'єкта до випущеного променя
  - Визначити координати
  - Визначити матеріал та відбивну здатність матеріалу
  - Порахувати інтенсивність лазерного променя за формулою
- Оцінка результатів симуляції;

Огляд та типізацію задач подано у вигляді UML-діаграми (рис.1.12.)



Рис.1.12. UML діаграма «Огляд і типізація задач»

## **Висновки до розділу 1**

Перспективність і темпи впровадження технологій віртуальної і доповненої реальності свідчать про те, що засоби навчання, розроблені на їх основі, стануть невід'ємною частиною навчання на всіх рівнях освіти, а їх роль значно зросте як в рамках традиційної очної підготовки, так і в рамках електронної освіти.

В цій роботі було розглянуто основні принципи віртуальної реальності, що показали актуальність і перспективність цієї галузі у багатьох напрямках і насамперед в освітній галузі.

## РОЗДІЛ 2. МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ РОЗРОБЛЕННЯ ВІРТУАЛЬНОЇ СИМУЛЯЦІЇ ЛАЗЕРНОГО ПРОМЕНЯ

					<b>МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА</b>			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Виконав		Авраменко К.О.			<i>Симуляція інтенсивності лазерного променя в середовищі віртуального лазерного сканера</i>	Літ.	Арк.	Аркушів
Консульт.								
Керівник		Горковчук Д.В.				36		
Зав. каф.		Карпінський Ю.О.				КНУБА, група ГІСТ-61		

## 2.1 Технологічна схема роботи лазерного променю

В основі технології тривимірного лазерного сканування лежить метод визначення множини тривимірних координат  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  окремих точок на об'єкті, що знімається. Вимірювання виконуються за допомогою високошвидкісного лазерного далекоміра. Для переходу на наступний вузол уявної сітки промінь лазерного далекоміра після кожного виміру розгортається системою дзеркал на деякий заданий кут. Підвищення щільності вузлів в цій сітці збільшує кількість знятих точок і деталізує зйомку.

Далекомір має високу швидкість вимірювань - від декількох сотень до десятків тисяч операцій в секунду. Координати точок, отримані в результаті сканування об'єкта, об'єднуються у великі групи точок (від сотень до мільйонів), звані на практиці хмарами точок.

Найпоширеніші сьогодні моделі лазерних сканерів використовують імпульсний лазерний далекомір. Відхилення лазерного променю у вертикальному напрямку здійснюється кроковим електродвигуном із закріпленням на ньому дзеркалом. У горизонтальному напрямку промінь лазера відхиляється шляхом обертання самого сканера (рис.2.1). Така схема дозволяє охопити все навколишнє сканер простір. Наприклад, в лазерному сканері Leica Scan Station поле зору становить 360° по горизонталі і 270° по вертикалі (рис.2.2.). Кутова точність крокових електромоторів, які керують обертанням сканера і дзеркала, поряд з точністю лазерного безвідбивачевого далекоміра, є важливою складовою точності одержуваних координат точок.

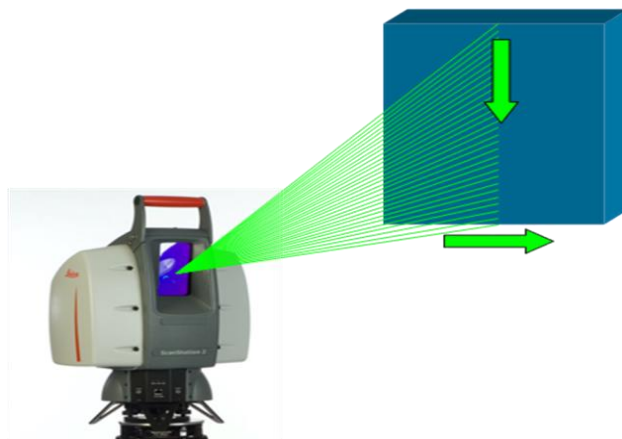


Рис. 2.1 Принцип дії лазерного сканера

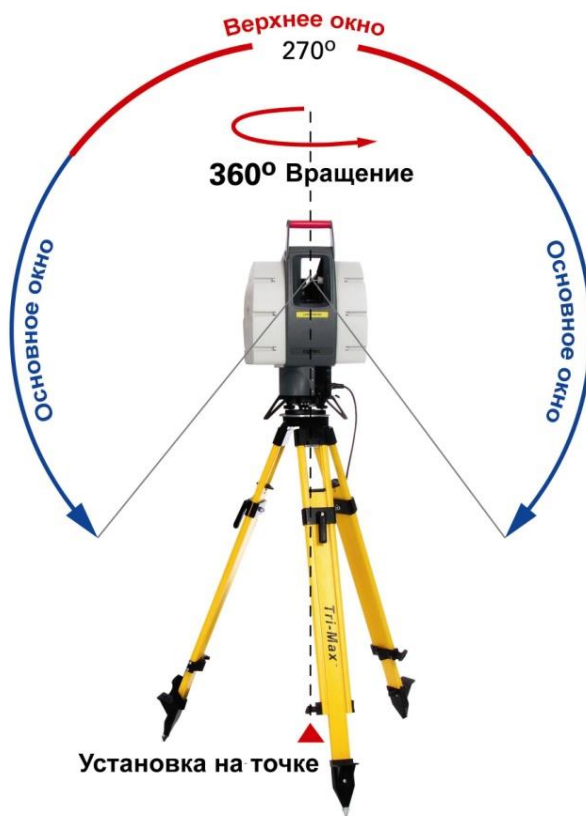


Рис. 2.2 Поле зору лазерного сканеру

Визначивши далекоміром відстань і знаючи кут відхилення лазерного променя в горизонтальній і вертикальній площинах, можна отримати тривимірні координати кожної точки. Вони будуть знаходитися в системі координат сканера.

Інтенсивність лазерного променя залежить від: відбивної здатності матеріалу; кута падіння лазерного променя; від довжини променя. Також залежність від різних типів лазеру.

За допомогою додаткових операцій і спеціалізованого програмного забезпечення можна буде прив'язати отримане хмара точок до будь-якої необхідної системи координат.

Багато моделей наземних лазерних сканерів мають вбудованої цифровою фотокамерою. З її допомогою можна зробити знімок оточення приладу. Отримавши панорамну фотографію об'єкта, користувач зможе взяти з неї тільки те, що потрібно, уникнувши сканування зайвих фрагментів і, отже, втрат робочого часу.

Як і в будь-якій сучасній технології, важливу роль в цій грає комп'ютер. Він служить керуючим і запам'ятовуючим пристроєм для лазерного сканера. Підключившись до нього за допомогою кабелю, ми можемо вибирати на екрані область сканування, задавати потрібну щільність зйомки, проводити фотографування об'єкта, задавати координати точки стояння сканера, відстежувати поточний стан процесу сканування, управляти збереженням результатів.

Технологія зйомки із застосуванням лазерного сканера залежить від геометрії і типу об'єкту, що знімається. Для досягнення результату іноді доводиться багаторазово переставляти сканер з точки на точку, виконуючи зйомку окремих деталей і фрагментів. Причина - наявність мертвих зон, що виникають через різні обставини. Тому нерідко виникає необхідність привести відзнятий матеріал до єдиної системи координат. Для цього під час зйомки на об'єкті або поруч з ним встановлюються марки, за допомогою яких проводиться об'єднання хмар точок, отриманих з різних точок сканування. Для просторової трансформації хмар потрібно, як мінімум, три марки на кожну точку установки сканера. Ці три точки з марками повинні бути видні з суміжних точок. Сам процес об'єднання хмар точок виконується в спеціалізованому програмному забезпеченні.

Сканування не є кінцевою метою роботи, це лише один з методів досягнення необхідного результату. Тут важливо заздалегідь визначити, чи потрібна тривимірна модель об'єкта або ж досить складання креслення - від цього буде залежати щільність одержуваних точок і, як наслідок, час на сканування. При необхідності детального опису об'єкта ми отримуємо великий масив даних у вигляді хмар точок (рис.2.3.).

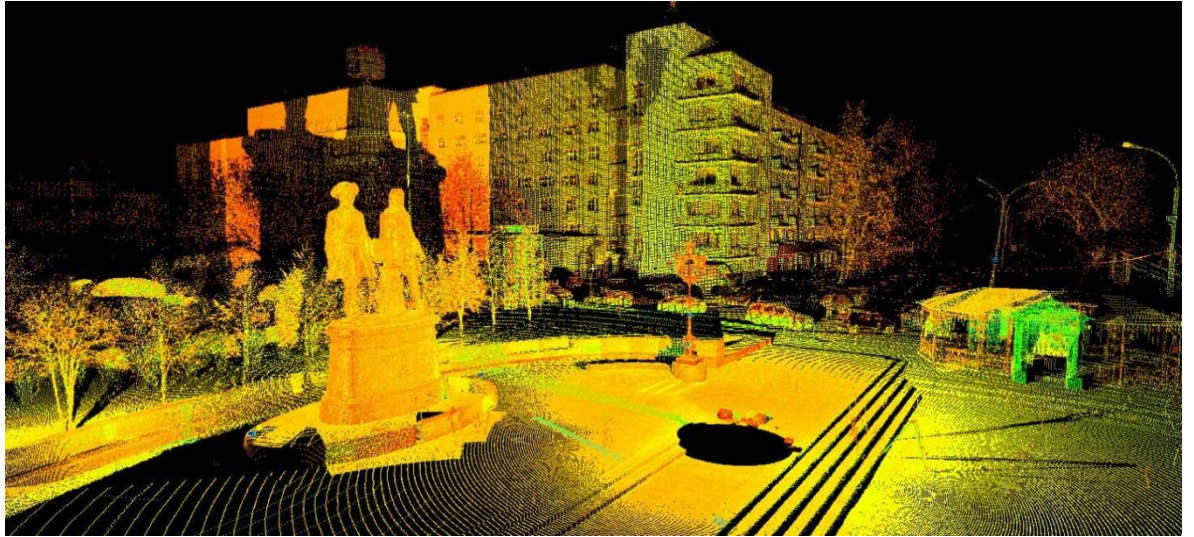


Рис. 2.3 Приклад хмари точок

Наступний етап роботи - виділення з отриманого набору даних тієї інформації, на підставі інтерпретації якої ми прийдемо до кінцевого результату. Це може бути, скажімо, розріз об'єкта в потрібній площині або його тривимірна модель з використанням набору графічних елементів. На екрані досить просто виміряти відстань там, куди неможливо відправити людину з рулеткою, а також скласти креслення за результатами сканування. В рамках спеціального програмного забезпечення можна створювати анімацію з обльотом отриманих хмар точок тривимірної моделі. При цьому необхідно враховувати, що величезні масиви даних, що складаються з десятків мільйонів точок, що займають гігабайти на накопичувачах, пред'являють підвищені вимоги до швидкодії комп'ютерів і ємності накопичувачів інформації.

Технологічна схема роботи лазерного променя на (рис.2.4)

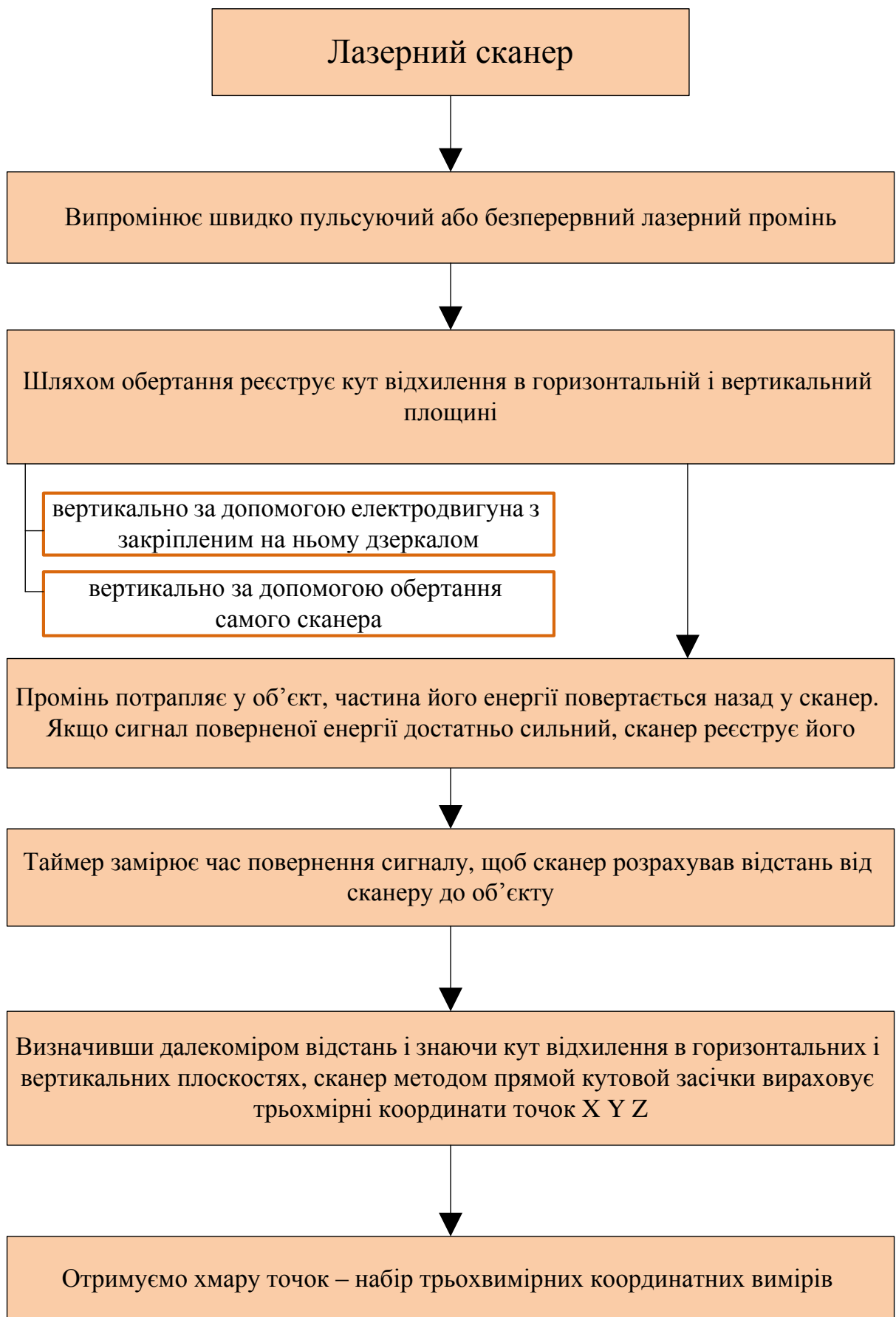


Рис. 2.4 Технологічна схема роботи лазерного променя

## **2.2 Розроблення функціональної моделі лазерного променя**

### *Принцип роботи скануючої системи.*

У більшості конструкцій сканерів використовується імпульсний лазерний далекомір. На шляху до об'єкту імпульси лазерного випромінювання проходять через систему дзеркал, які здійснюють покрокове відхилення лазерного променя. Найбільш поширеною є конструкція, що складається з двох рухомих дзеркал. Одне з них відповідає за вертикальне зміщення променя, інше - за горизонтальне. Дзеркала сканера управляються прецизійними сервомоторами, в кінцевому підсумку, вони і забезпечують точність напрямку променя лазера на об'єкт зйомки. Знаючи кут розвороту дзеркал в момент спостереження і вимірювання відстаней, процесор обчислює координати кожної точки.

Все управління роботою приладу здійснюється за допомогою портативного комп'ютера зі спеціальними програмами. Отримані значення координат точок з сканера передаються в комп'ютер по інтерфейсному кабелю і накопичуються в спеціальній базі даних. Сканер має певну область огляду або, іншими словами, поле зору.

Попереднє наведення сканера на досліджувані об'єкти відбувається або за допомогою вбудованої цифрової фотокамери, або за результатами попереднього розрядженого сканування. Зображення, що отримується цифровою камерою, передається на екран комп'ютера, і оператор здійснює візуальний контроль орієнтування приладу. Сканування може проводитися як відразу все поля зору, так і лише якийсь його частини. Тому фотозображення може бути використано для виділення із загальної картини потрібних локальних областей.

Робота по скануванню часто відбуватися в кілька сеансів, по-перше, через обмежений поля зору, по-друге, через форми об'єктів, коли всі поверхні просто не видно з однієї точки спостереження. Найпростіший приклад - чотири стіни будівлі. Отримані з кожної точки стояння скани поєднуються в єдиний простір в спеціальному програмному модулі. Для забезпечення процесу суміщення ще на стадії польових робіт необхідно передбачити отримання сканів з зонами

взаємного перекриття. При цьому перед початком сканування в цих зонах потрібно розмістити спеціальні мішені. Це є досить суттєвим моментом при плануванні робіт. За координатами цих мішеней і буде відбуватися процес "зшивання". Можна поєднати хмари точок без спеціальних мішеней, використовуючи лише характерні точки, що знімається.

Реалізація лазерного променя буде виконуватися по технологічній схемі зображеній на (рис.2.5.)



Рис.2.5 Технологічна схема реалізації лазерного променя.

Визначення інтенсивності лазерного променя, технологічна схема показана на (рис.2.6)

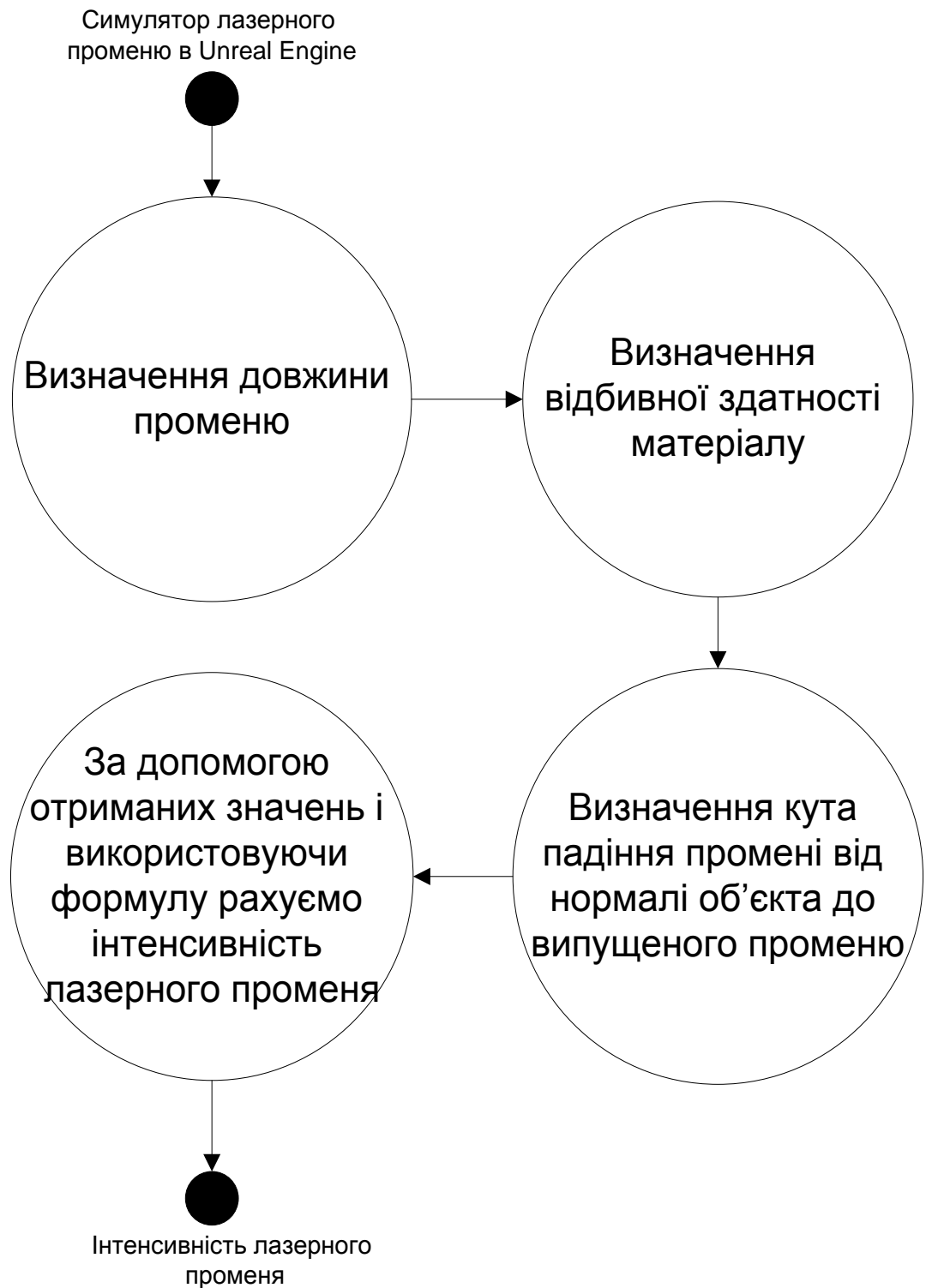


Рис.2.6 Технологічна схема визначення інтенсивності лазерного променя.

## **Висновки до розділу 2**

Розглянуто основі технології тривимірного лазерного сканування;

На основі методичних засад було розроблено технологічну схему роботи лазерного променя;

Розглянуто принцип роботи скануючої системи;

Було розроблено функціональну модель лазерного променя;

Розроблено технологічну схему реалізації лазерного променя;

Розроблено технологічну схему визначення інтенсивності лазерного променя.



### 3.1 Налаштування середовища Unreal Engine для роботи з хмарами точок.

Хмара точок це величезна кількість даних яку важко обробляти. У Unreal Engine є плагін «LiDAR Point Cloud», він дозволяє імпортувати, візуалізувати, обробляти, редагувати та взаємодіяти з хмарами точок, отриманих від пристроїв лазерного сканування.

Розширення доступне в UE 4.25 у Unreal Editor, підтримує основні формати хмари точок (.txt, .xyz, .pts та .las).

Хмари точок можуть бути імпортовані редактором, перетягнувши файл у «Content Browser» або за допомогою API Blueprint.(рис.3.1.) З області перегляду редактора окремі точки можна приховати, видалити, об'єднати або витягти.

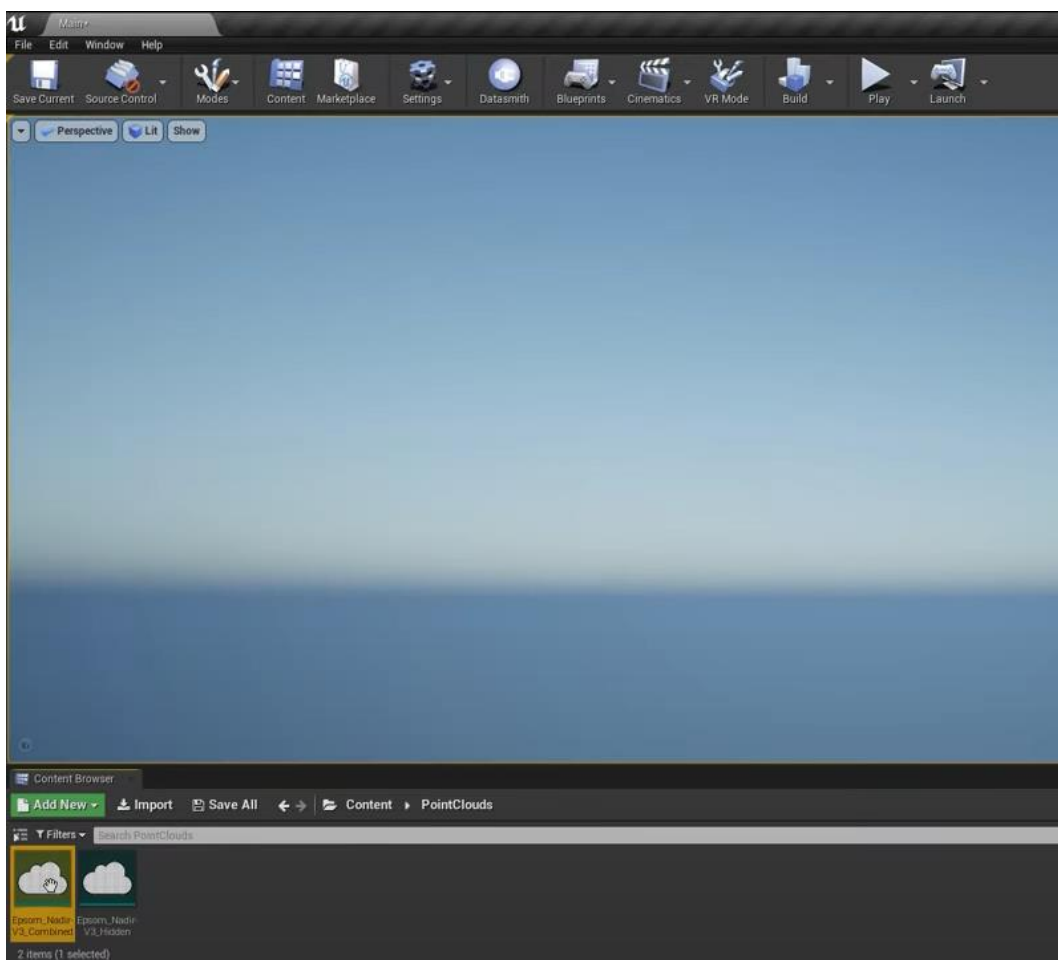


Рис.3.1. Імпорт хмари точок.

Також плагін має підтримку роботи з декількома сегментами хмари точок без зниження продуктивності, тобто може обробляти дуже великі набори даних.(рис.3.2)

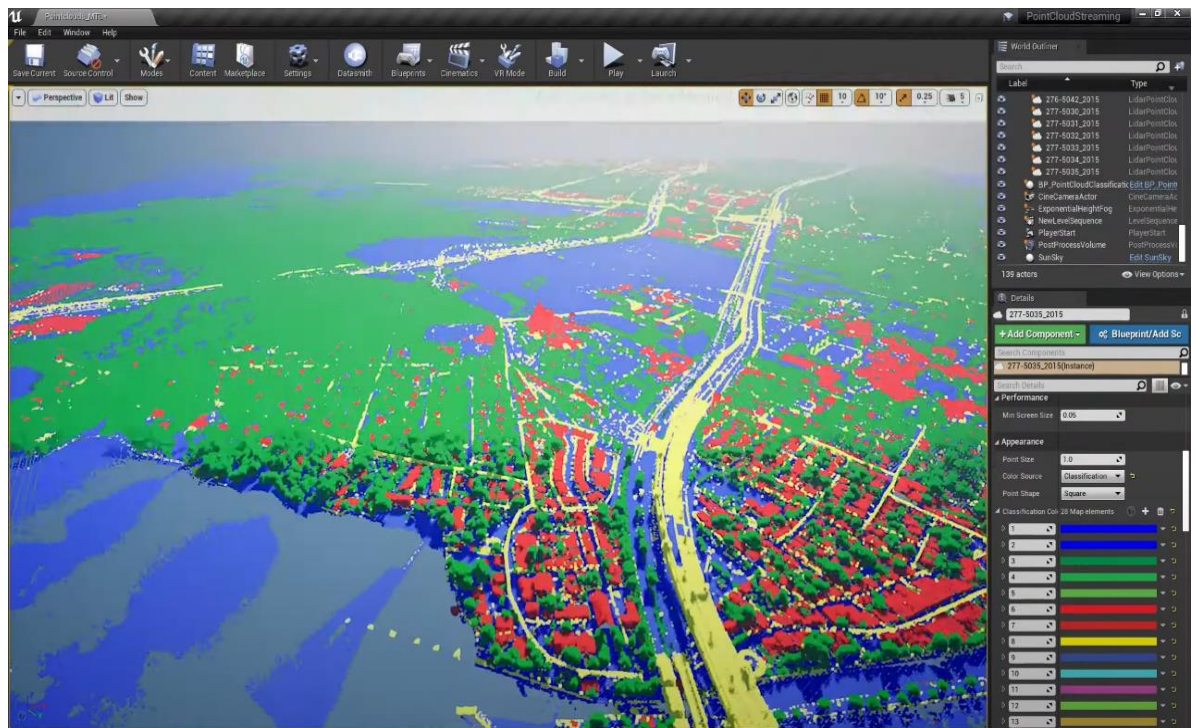


Рис.3.2. Великій набір даних

Динамічна система рівня деталізації зберігає продуктивність на високому рівні, зберігаючи візуальні результати шляхом визначення пріоритету точок у центрі області перегляду, що робить його ідеальним для VR.

Плагін «LiDAR Point Cloud» надає кілька атрибутів, які дозволяють контролювати зовнішній вигляд даних хмари точок с кількома техніками фарбування: RGB, інтенсивність, висота і класифікація.(рис.3.3.) та (рис.3.4.)



Рис.3.3. Різні атрибути



Рис.3.4. Різні варіанти фарбування хмари точок.

Також можливе зіткнення с хмарами точок, тобто хмара точок має свою колізію.(рис.3.5.)

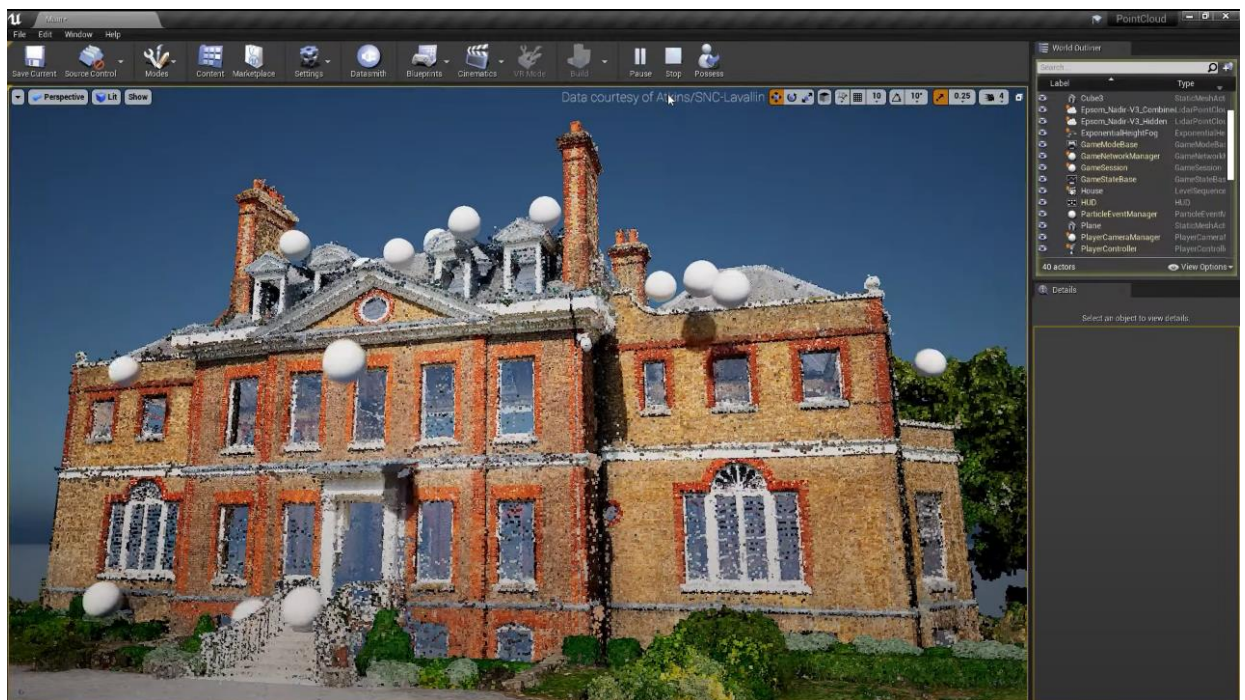


Рис.3.5. Колізія об'єкта.

Хмари точок є повністю редагуемі , дозволяючи приховувати, удаляти, об'єднувати і вилучати окремі точки в вікні редактора.

Функція «Eye-Dome Lighting» – це фотореалістична модель освітлення, яка допомагає підкреслити форми різних об'єктів у хмарі точок, групуючи точки, розташовані близько одна від одної і затінюючи їх обриси. На (рис.3.6.) зображена хмара точок без функції «Eye-Dome Lighting», на (рис.3.7.) з нею.

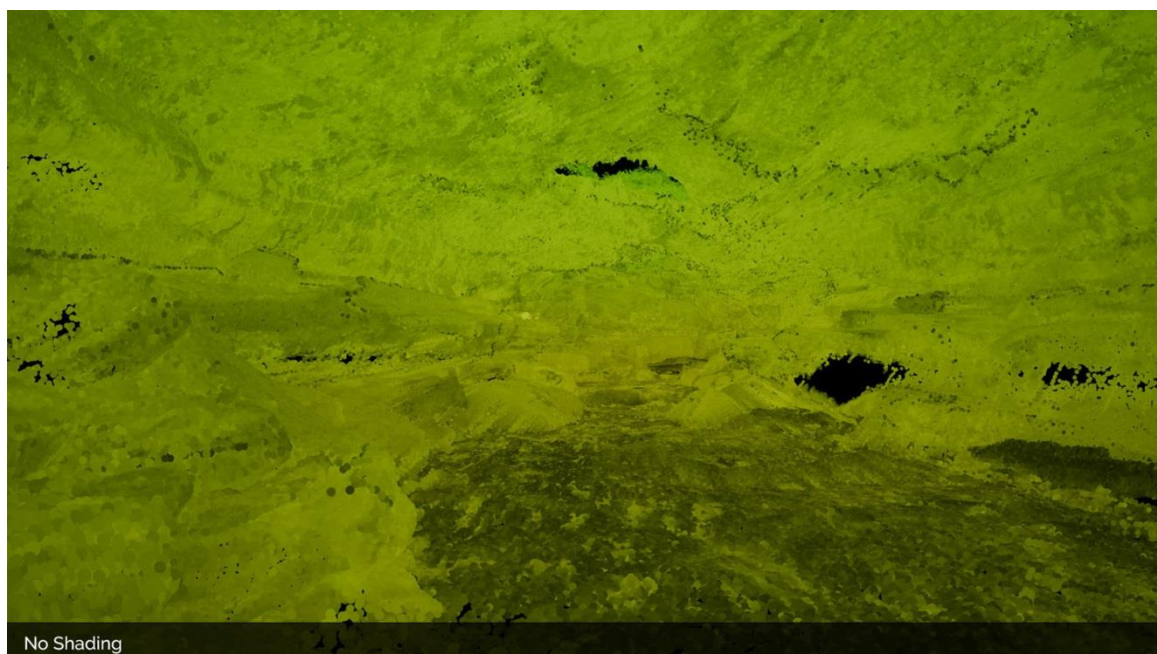


Рис.3.6. без функції «Eye-Dome Lighting»

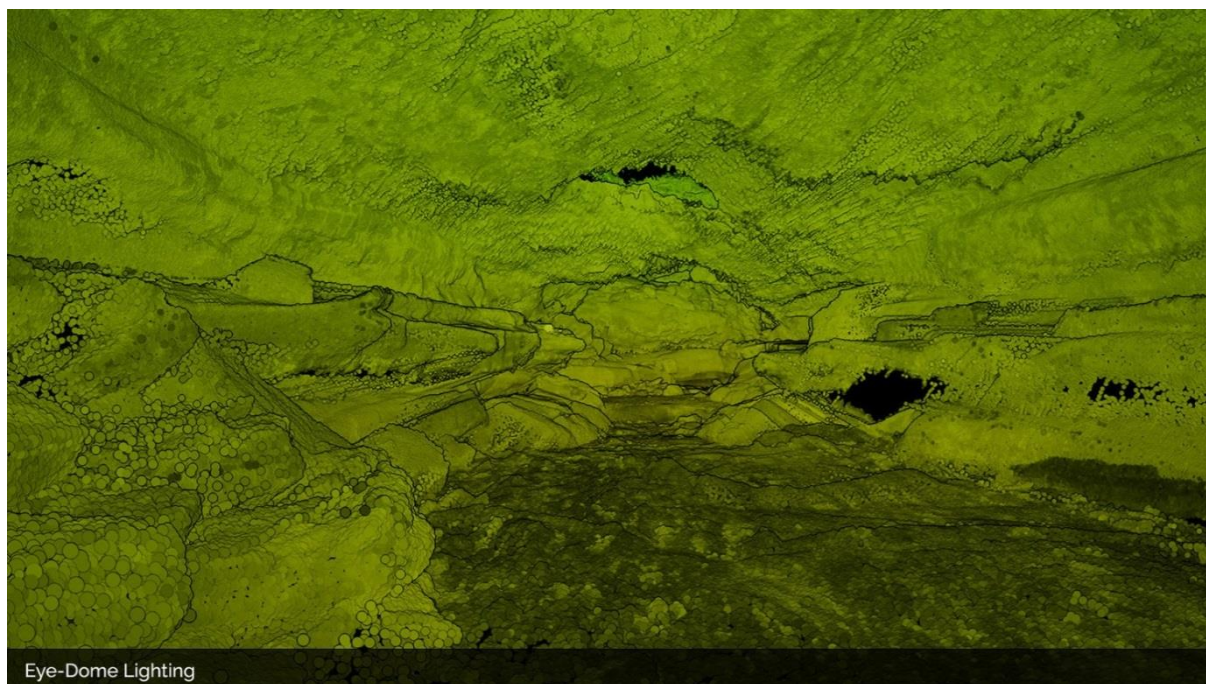


Рис.3.7 з функцією «Eye-Dome Lighting»

### **3.2. Реалізація функцій лазерного променя на мові «Blueprint Visual Scripting».**

Для реалізації функцій лазерного променя я буду використовувати функцію «Line trace» лінійне трасування на ігровому двигуні «Unreal Engine».

Unreal Engine – програма для створення віртуальних об'єктів, що розробляється і підтримується компанією Epic Games.

Написана на мові C ++, програма дозволяє створювати віртуальні об'єкти для більшості операційних систем і платформ: Microsoft Windows, Linux, Mac OS і Mac OS X; консолей Xbox, Xbox 360, Xbox One, PlayStation 2, PS3, PlayStation 4, PSP, PS Vita, Wii, Dreamcast, GameCube і ін., а також на різних портативних пристроях, наприклад, пристроях Apple (iPad, iPhone), керованих системою iOS і інших.

Для спрощення портування програма використовує модульну систему залежних компонентів; підтримує різні системи рендеринга (Direct3D, OpenGL, Pixomatic; в ранніх версіях: Glide, S3, PowerVR), відтворення звуку (EAX, OpenAL, DirectSound3D; раніше: A3D), засоби голосового відтворення тексту, розпізнавання мови), модулі для роботи з мережею та підтримуваних пристроїв введення.

На даний момент функціонально UE, завдяки Blueprints (візуальне програмування), потужному редактору матеріалів та штучному інтелекту, попереду своїх конкурентів. У інших програм немає можливості 70 використовувати зручне візуальне програмування, що сильно скорочує витрати часу. Постійно додаються нові параметри, ком'юніті створює власні блюпринти, які безборонно можна використовувати. А якщо цього недостатньо, то за допомогою C++ можна зробити все, що завгодно. Є модуль для додавання Шарпа, що полегшує перехід Unity-розробників.

Завдяки тому, що Unreal Engine 4 є двигуном для створення різних віртуальних об'єктів, його можна використовувати в самих різних цілях. Наприклад, у сфері освіти як особистого помічника в розвитку розумових

здібностей. У майбутньому ця програма допоможе дуже багатьом, в тому числі юному поколінню [9].

Line trace – лінійна трасировка, це щось на кшталт лазерного далекоміра чи ультра звукового датчика. Функція відправляє сигнал, який зіткнувшись с об'єктом у нього на шляху відбивається і повертається назад, заміривши час який знадобився с момента відправки сигналу до його повернення можна отримати інформацію – відстань.

У випадку с UE4 можна отримати велику кількість інформації:

- Відстань
- Назва об'єкту
- Тип об'єкту
- Координати зіткнення з об'єктом
- Координати с яких був випущений промінь

Працювати с «Line trace» будемо в «Blueprint» головного персонажа «FirstPersonCharacter»

Нажавши правою клавiшою миші на графіку, знаходимо блоки «Trace», які знаходяться у розділі «Collision» или находим в поиске «Line trace for Objects»(рис.3.8.)

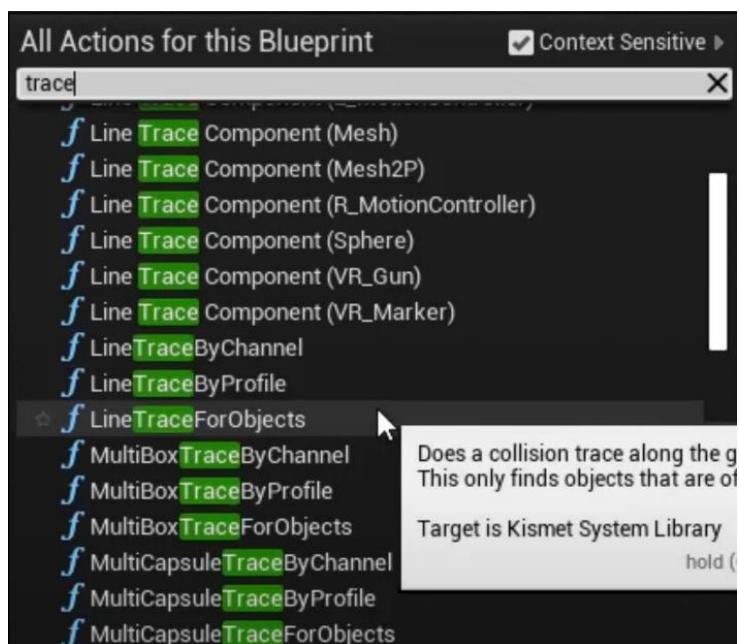


Рис.3.8. Функція «Line trace for Objects»

Блок функції «Line trace for Objects» на (рис.3.9.)

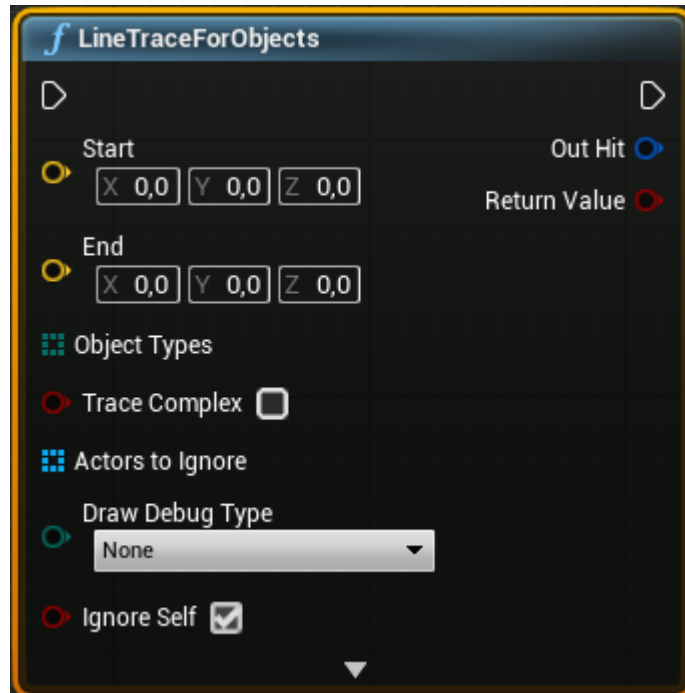


Рис. 3.9. Функція «Line trace for Objects»

Створюємо відрізок с початковою і кінцевою точкою на шляху якого буде перевірка на наявність об'єкта.

Для того, щоб визначити координати випускаемого променя отримаємо силку на камеру головного персонажа и витянемо із неї її координати за допомогою «Get world location» (рис.3.10.)

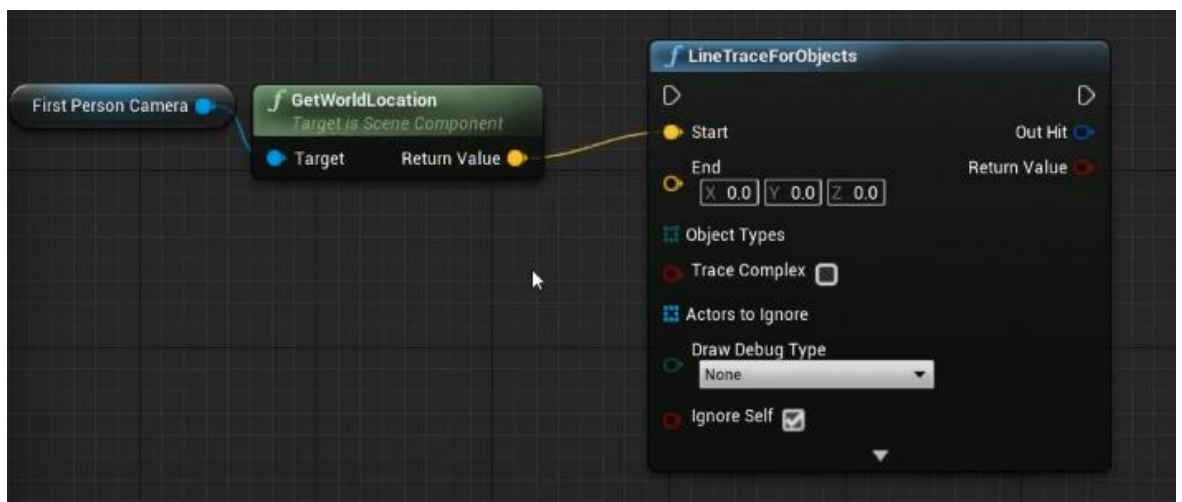


Рис.3.10. «Get world location»

Потім потрібно визначити координати точку, де буде завершуватися перевірка за допомогою трасування. Потрібно взяти початкові координати відрізка і додати до них довжину. Для того щоб зрозуміти куди направлений головний персонаж, витягуємо с головного персонажа «Get forward vector» (рис.3.11.)

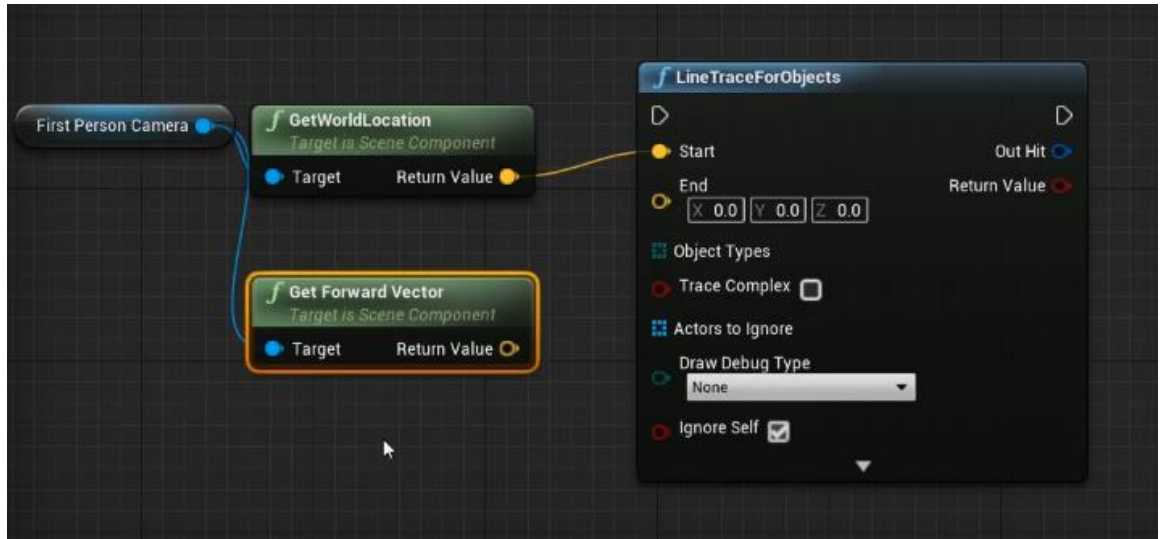


Рис.3.11. «Get forward vector»

Таким чином ми отримаємо точку координат, яка розташована перед об'єктом.

Умножимо цю координату на число довжини луча, так як дальність луча не бесконечна. Умножимо «Get forward vector» на число «float» (рис.3.12.)

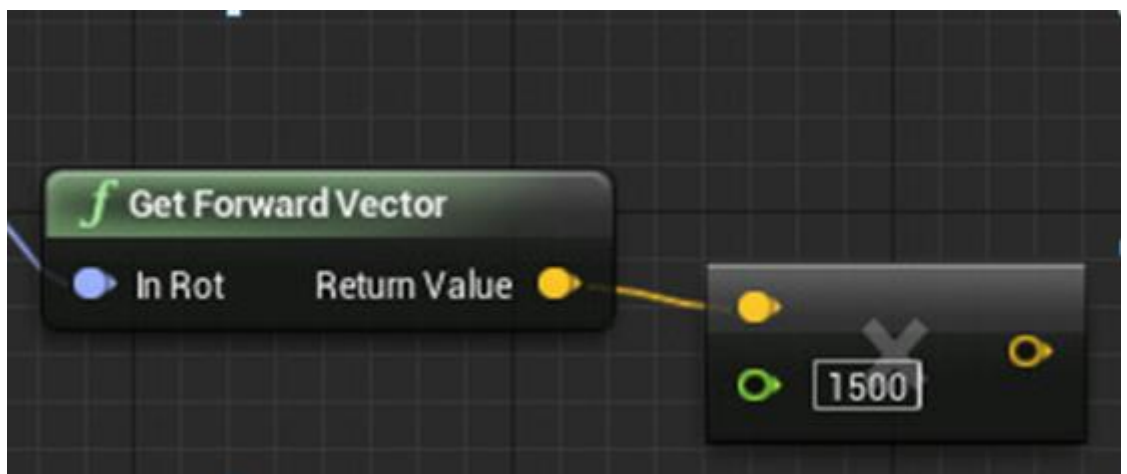


Рис.3.12. «Get forward vector» на число «float».

Суммуємо початкові координати с отриманими значеннями «vector» + «vector». (рис.3.13.)

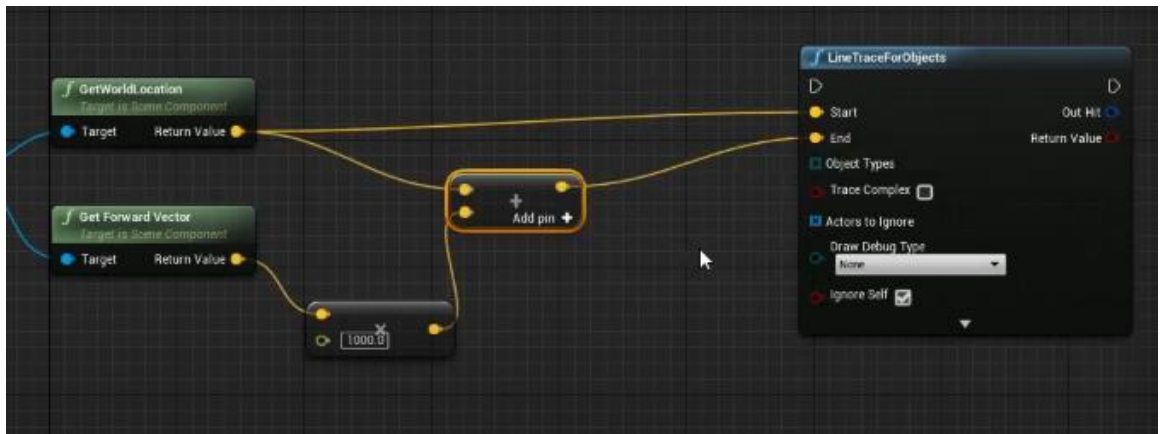


Рис.2.13. «vector» + «vector».

Далі розглянемо «Object types» в функції «Line trace», сюди додаємо масив з об'єктами на тип яких и буде проводитись перевірка, зробимо «make array» та виберемо типи об'єктів на які реагуватиме промінь. (рис.3.14.)

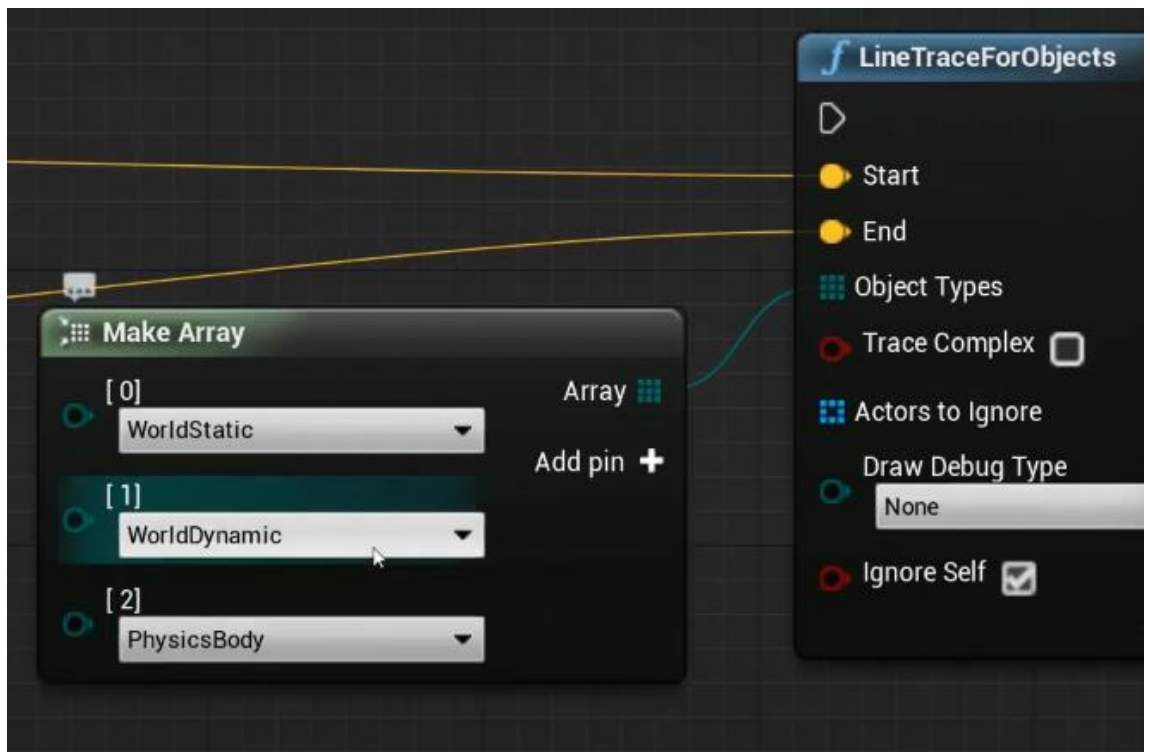


Рис.3.14. «Object types»

«Trace complex» тут вказуємо на який тип колізії реагувати, галочка є – комплексний, немає – спрощений.

«Draw debug type» для візуалізації променя.

Ставимо галочку «Ignore self» для того щоб ігнорувати колізію об'єкта. (рис.3.15.)

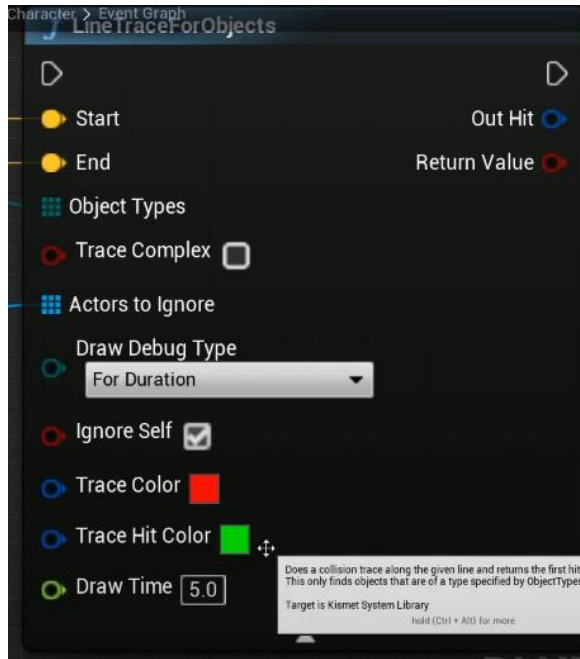


Рис.3.15. «Trace complex», «Draw debug type», «Ignore self».

Коли промінь зіштовхнеться з об'єктом він видасть булеву змінну True и видасть цілу структуру даних. Розбити структуру можна за допомогою «Break hit result» або зробив «split struct pin» (рис.3.16.)

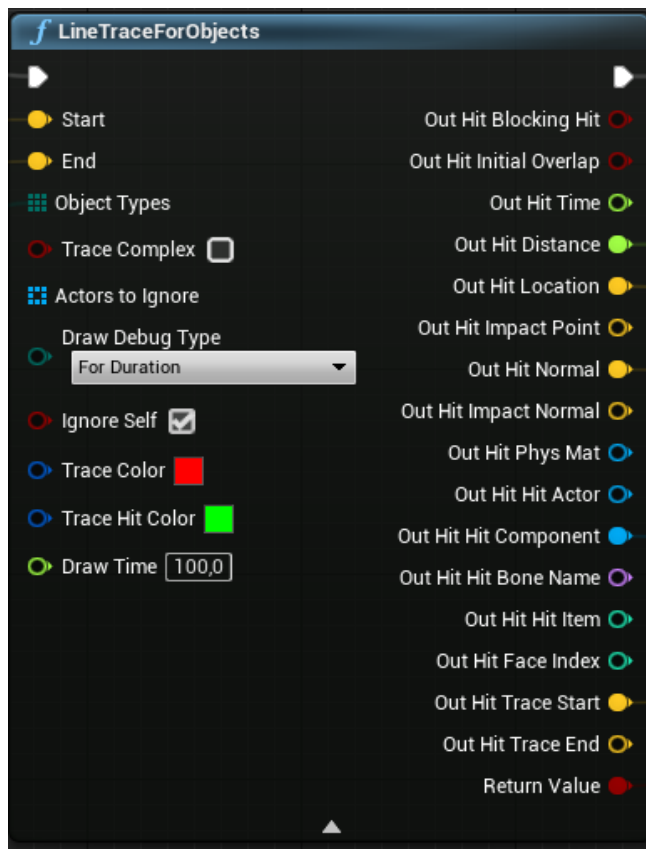


Рис.3.16 «split struct pin»

Трасування розпочинаємо кнопкою «L» (рис.3.17.)

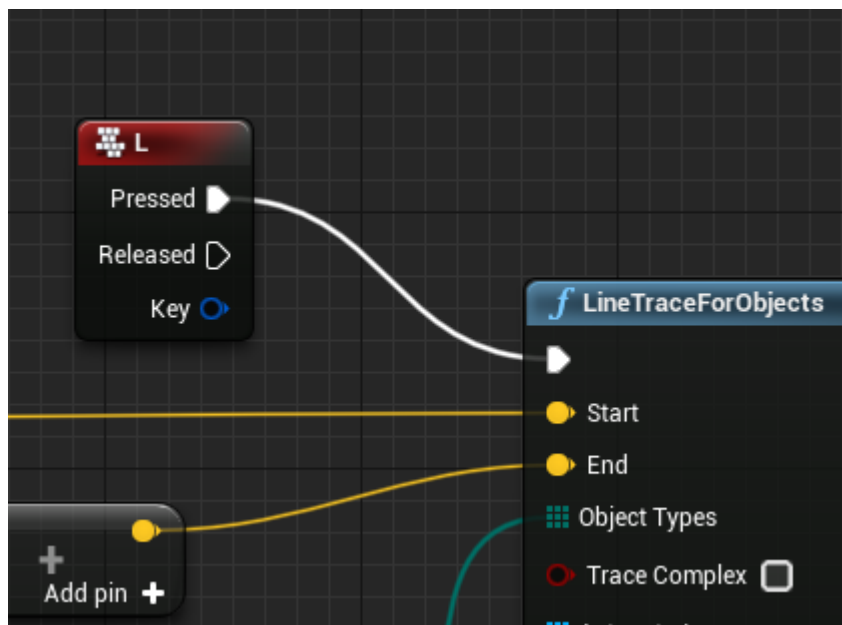


Рис.3.17. Кнопка «L»

Реалізація лазерного променя на (рис.3.18.)

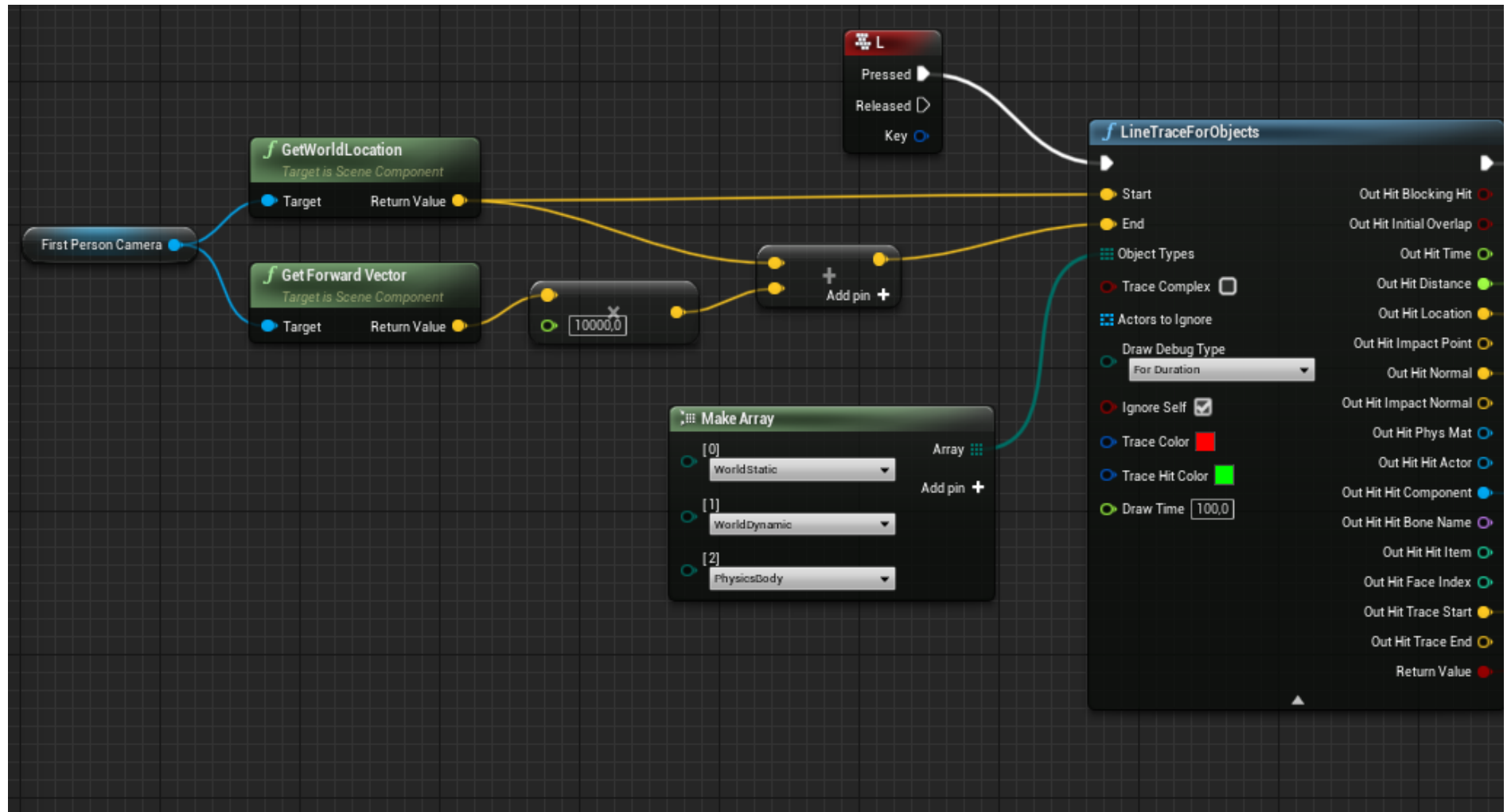


Рис.3.18 Реалізація лазерного променя в середовищі Blueprint Unreal Engine.

Після проєктування функціональної моделі лазерного променя необхідно створити таблицю з матеріалами та їх відбивною здатністю, для того щоб мати можливість визначити матеріал в який влучив промінь.

Створюємо структуру для створення таблиці(рис.3.19)

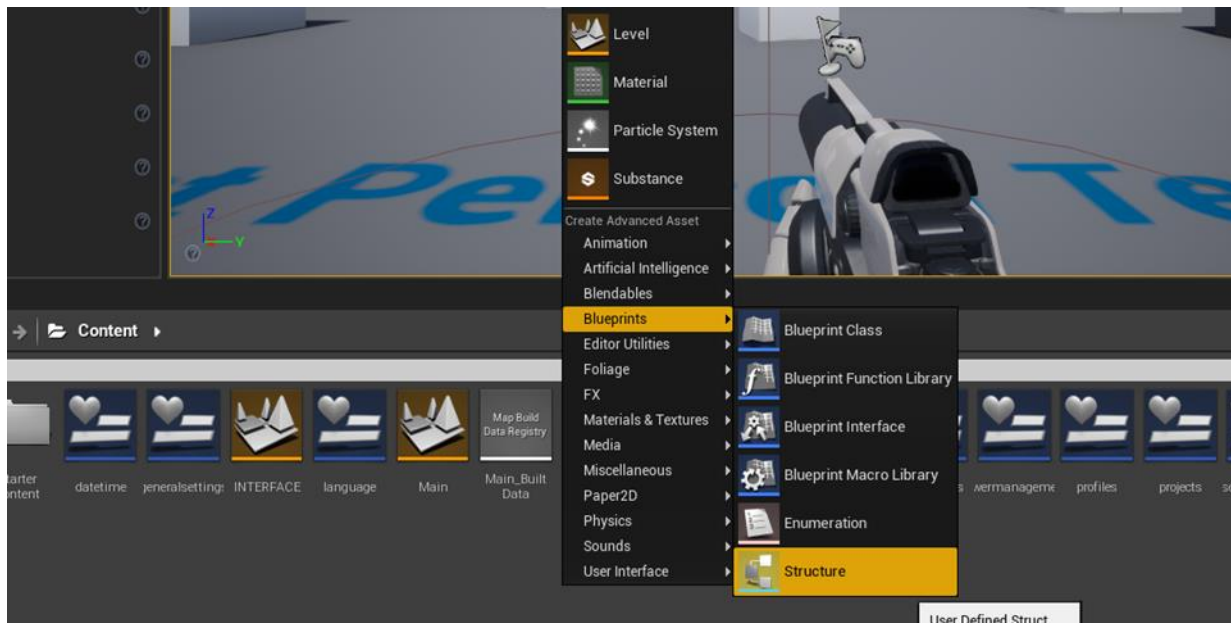


Рис.3.19. Структура даних

Наповнюємо структуру необхідними атрибутами(табл.3.1) та (рис.3.20.)

Таблиця 3.1

Ім'я колонки	Тип даних
Матеріал	text
Відбивна здатність	float
Матеріал(Unreal)	Material

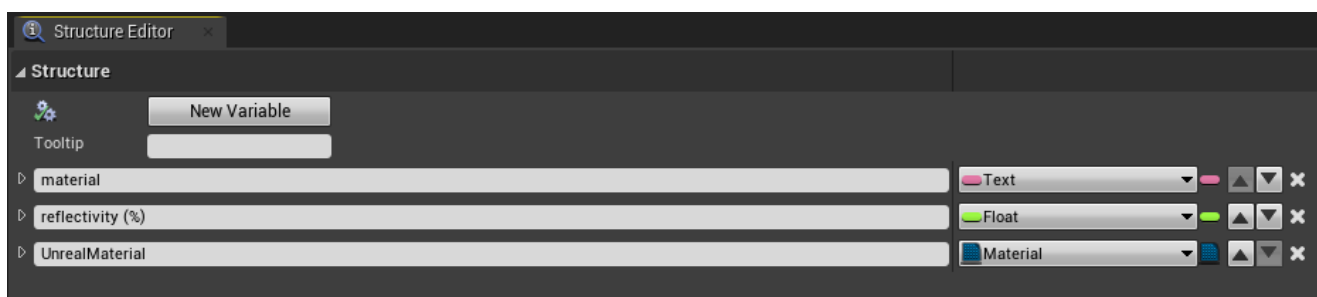


Рис.2.20.Наповнення структури атрибутами.

Наповнюємо таблицю(рис.3.21)

Id	RoI	material	reflectivity (%)	UnrealMaterial
1	1	Пиломатеріали(чисті, сухі)	94.000000	Material'/Game/StarterContent/Materials/image_2020-11-21_04-49-00_
2	2	Сніг	90.000000	Material'/Game/StarterContent/Materials/image_2020-11-21_04-51-48_
3	3	Біла кладка	0.850000	Material'/Game/StarterContent/Materials/image_2020-11-21_03-31-46_
4	4	Вапняк, глина	75.000000	Material'/Game/StarterContent/Materials/image_2020-11-21_04-41-14_
5	5	Листяні дерева	60.000000	Material'/Game/StarterContent/Materials/image_2020-11-21_04-15-14_
6	6	Хвойні дерева	30.000000	Material'/Game/StarterContent/Materials/image_2020-11-21_03-19-22_
7	7	Карбонатний пісок(сухий)	57.000000	Material'/Game/StarterContent/Materials/image_2020-11-21_04-27-07_
8	8	Карбонатний пісок(вологий)	41.000000	Material'/Game/StarterContent/Materials/image_2020-11-21_04-26-37_
9	9	Пляжний пісок	50.000000	Material'/Game/StarterContent/Materials/image_2020-11-21_04-21-18_
10	10	Дерев'яний піддон	0.250000	Material'/Game/StarterContent/Materials/M_Wood_Pine.M_Wood_Pine'
11	11	Бетон(рівний)	0.240000	Material'/Game/StarterContent/Materials/M_Concrete_Poured.M_Concret
12	12	Асфальт з галькою	17.000000	Material'/Game/StarterContent/Materials/асфальт_4_Mat.асфальт_4_M
13	13	Лава	8.000000	Material'/Game/StarterContent/Materials/image_2020-11-21_03-47-48_
14	14	Чорний неопрен(синтетичний каучук)	5.000000	Material'/Game/StarterContent/Materials/image_2020-11-21_03-58-24_

Id	material	reflectivity (%)	UnrealMaterial
13	Лава	8,0	image_2020-11-21_03-47-48_Mat

Рис.3.21 Наповнена таблиця

*Реалізація функцій лазерного променя.*

Для початку використаємо гілку «Branch» даний вузол служить простим способом вибору одного з двох дії на основі логічного умови. Якщо умова поверне істину (true) то буде виконуватися однойменна гілка або повернеться невірна (false) то буде виконуватися інша гілка. С блоку «Break hit result» витягуємо «Return value», так ми перевіримо потрапляння променю у фізичний об'єкт, якщо потрапляння буде то дія буде виконуватись.(рис.3.22)

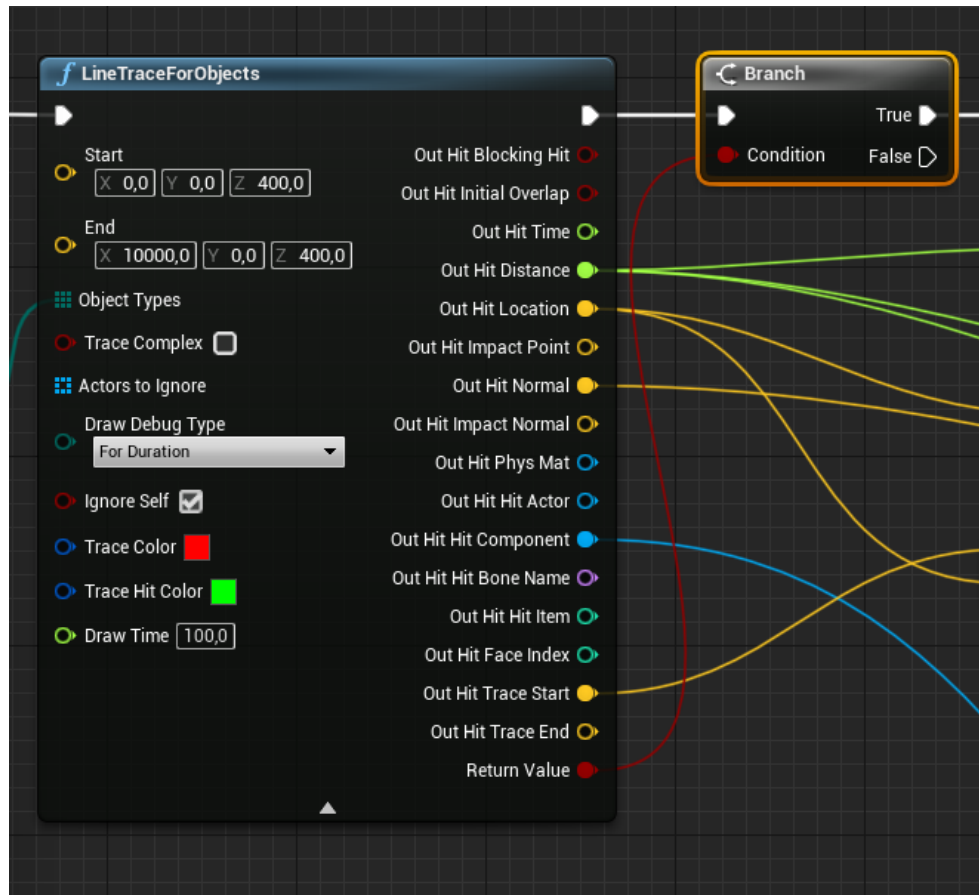


Рис.3.22.Функція «line trace for objects»

Далі для того, щоб визначити довжину променя потрібно с блоку «Break hit result» витягнути «Out hit distance»(рис.3.23)

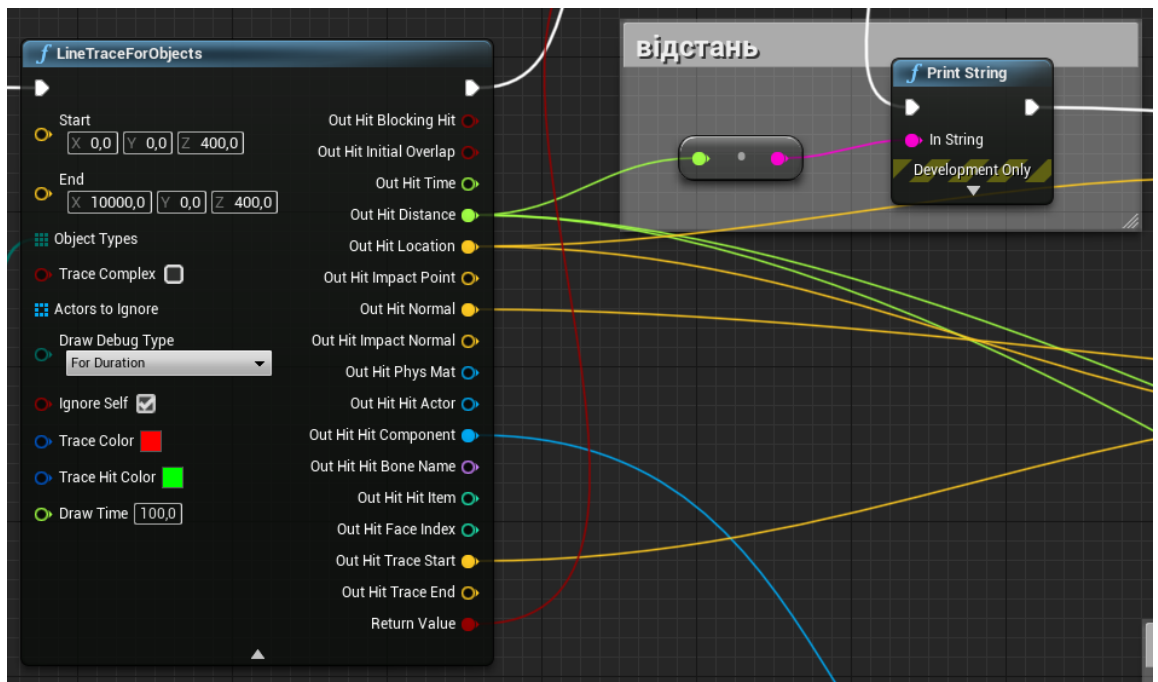


Рис.3.23.Знаходження відстані в середовищі Blueprint Unreal Engine.

Блок «print string» виведе отримане значення на екран.(рис.3.24.) та (рис.3.26) Результат буде виводитися блакитним кольором(рис.3.25) та (рис.3.26.)

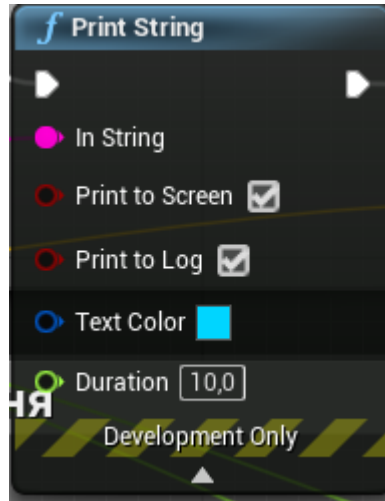


Рис.3.25 Блок «print string»



Рис.3.26.Результ

Для визначення координат с блоку «Break hit result» витягуємо «out hit location» та за допомогою «print string» виводимо на екран.(рис.3.27.) та (рис.3.28)



Рис.3.7. «out hit location»

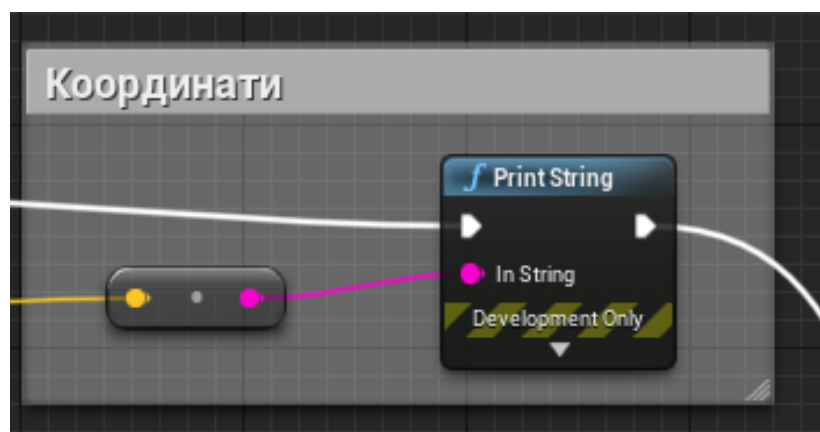


Рис.3.28. Знаходження кординат в середовищі Blueprint Unreal Engine

Результат буде виводитися жовтим кольором(рис.3.29) та (рис.3.30.)

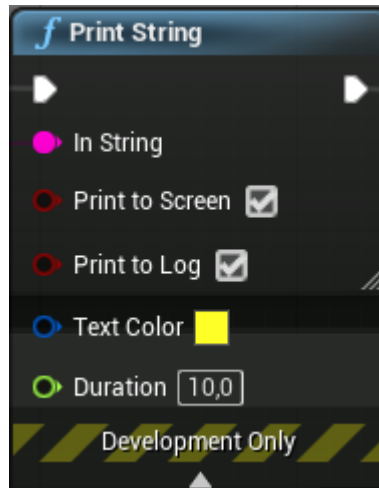


Рис.3.29. «print string»



Рис.3.30.Результат.

Щоб визначити кут падіння променя, треба «out hit trace start» відняти «out hit location», потім за допомогою функції «normalize» отримане значення ми нормалізуємо в одиничну копію вектора, потім за допомогою «dot» ми отримуємо скалярний добуток двох векторів і беремо «acos» числа і виводимо значення на екран за допомогою «print string»(рис.3.31.) (рис.3.32.) (рис.3.33.)

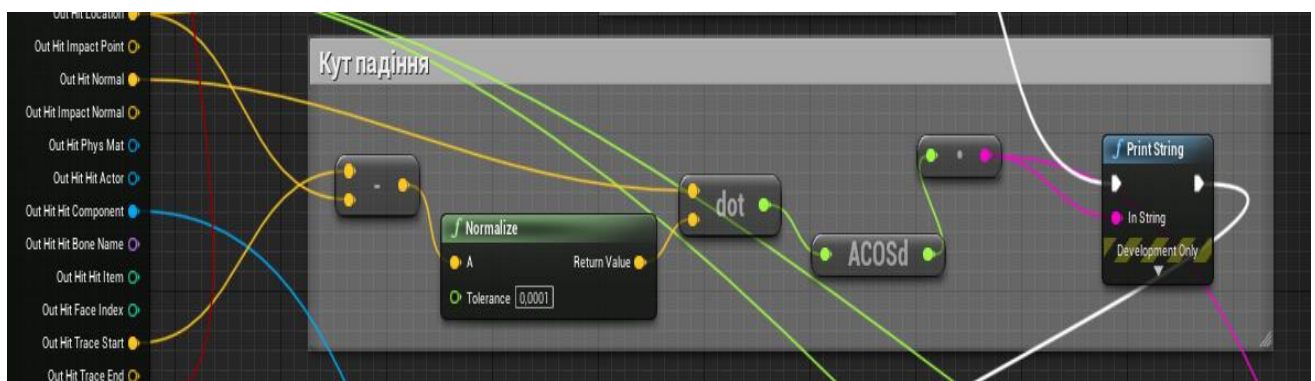


Рис.3.31.Визначення кута падіння променя в середовищі Blueprint Unreal Engine.

Результат буде виводитися зеленим кольором(рис.3.32) та (рис.3.33.)

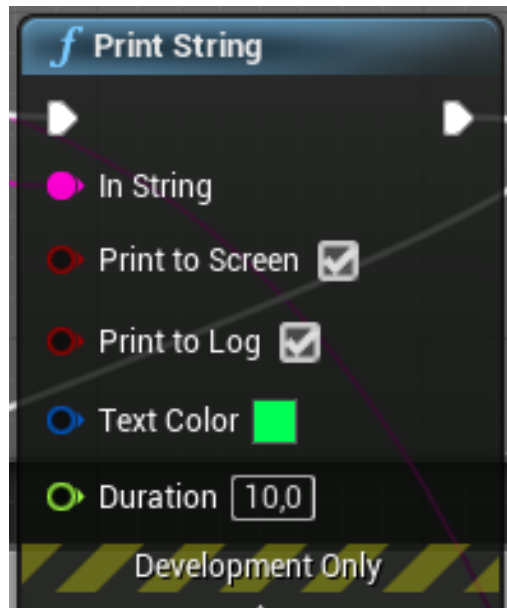


Рис.3.32.«print string»



Рис.3.32. Результат.

Для визначення відбивної здатності матеріалу потрібно витягнути «out hit component», який повертає посилання на компонент с яким було здійснено зіткнення, до функції «Get material», яка повертає матеріал використовуемий елементом по указаному індексу.(рис.3.34)

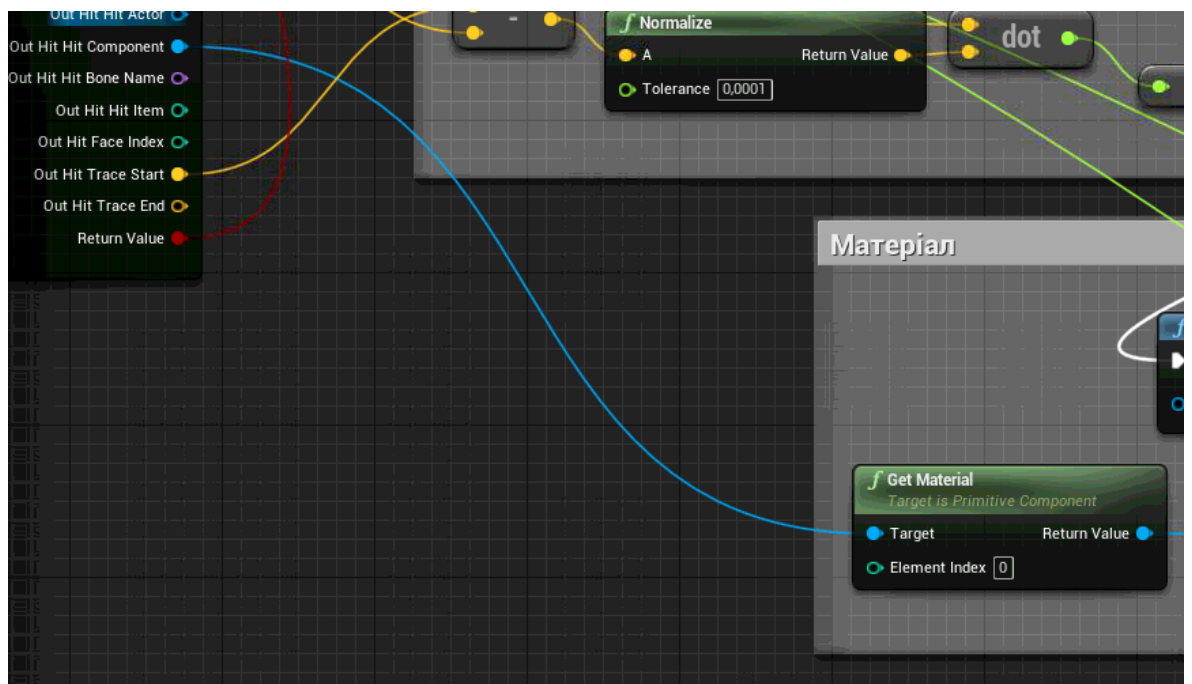


Рис.3.34.«Get material»

Ще використовуємо функцію «Get data table row names», яка отримує імена строк з таблиці «Матеріали і їх відбивна здатність»(Рис.3.35.)

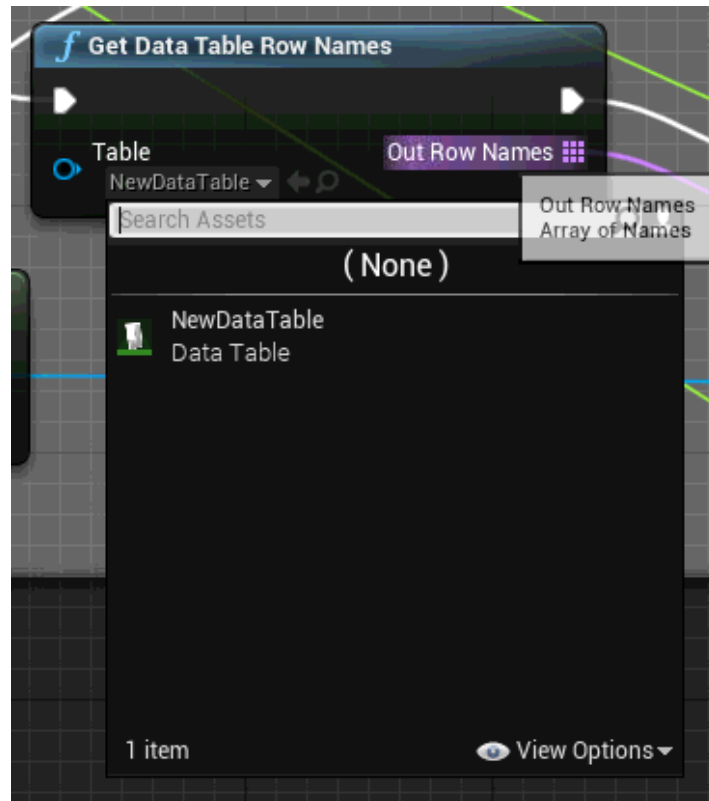


Рис.3.35. «Get data table row names».

Далі використовуємо цикл «For each loop» і функцію «Get data table row NewDataTable», для того, щоб функція перевірила кожен елемент таблиці на влучання.(рис.3.36.)

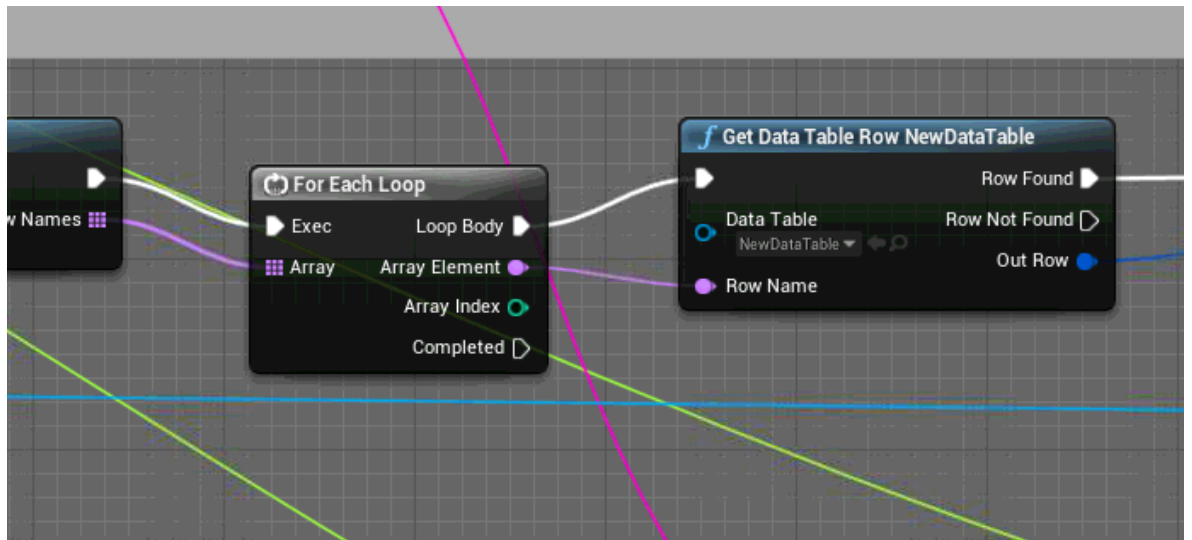


Рис.3.36 «For each loop» і функція «Get data table row NewDataTable»

Потім додаємо вузол, який розбиває таблицю в його поля «break material»(рис.3.38), якщо об'єкт в який потрапив промінь дорівнює об'єкту з таблиці то дія продовжується(рис.3.38)

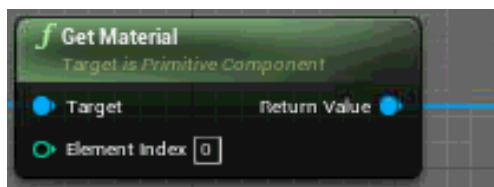


Рис.3.37. «Get material».

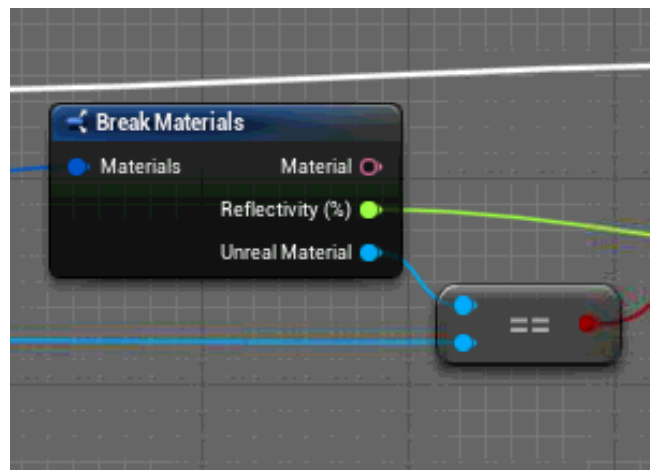


рис.3.38.«break material».

Потім використовуємо гілку «Branch» даний вузол служить простим способом вибору одного з двох дії на основі логічного умови. Якщо умова поверне істину (true) то буде виконуватися однойменна гілка або повернеться брехня (false) то буде виконуватися інша гілка. І виводимо значення за допомогою «print string» (рис.3.39)

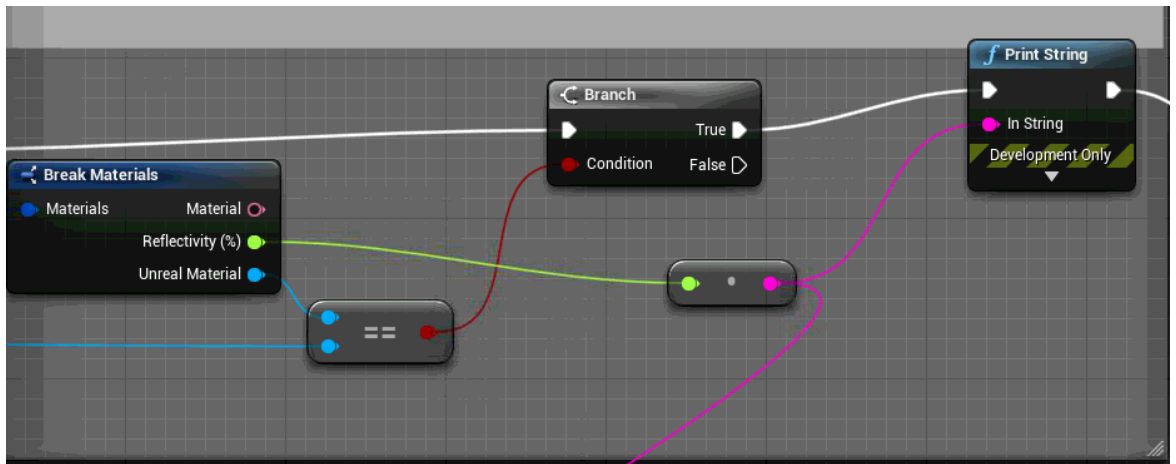


Рис.3.39. «Branch» та «print string».

Результат буде виводитися червоним кольором(рис.3.40) та (рис.3.41.)

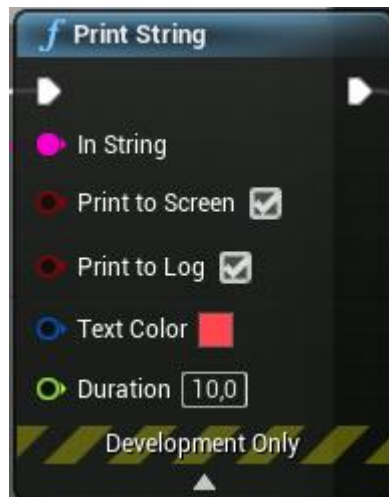


Рис.3.40.«print string».



Рис.3.41.Результат.

Повний «blueprint» знаходження відбивної здатності матеріалу(рис.3.42)

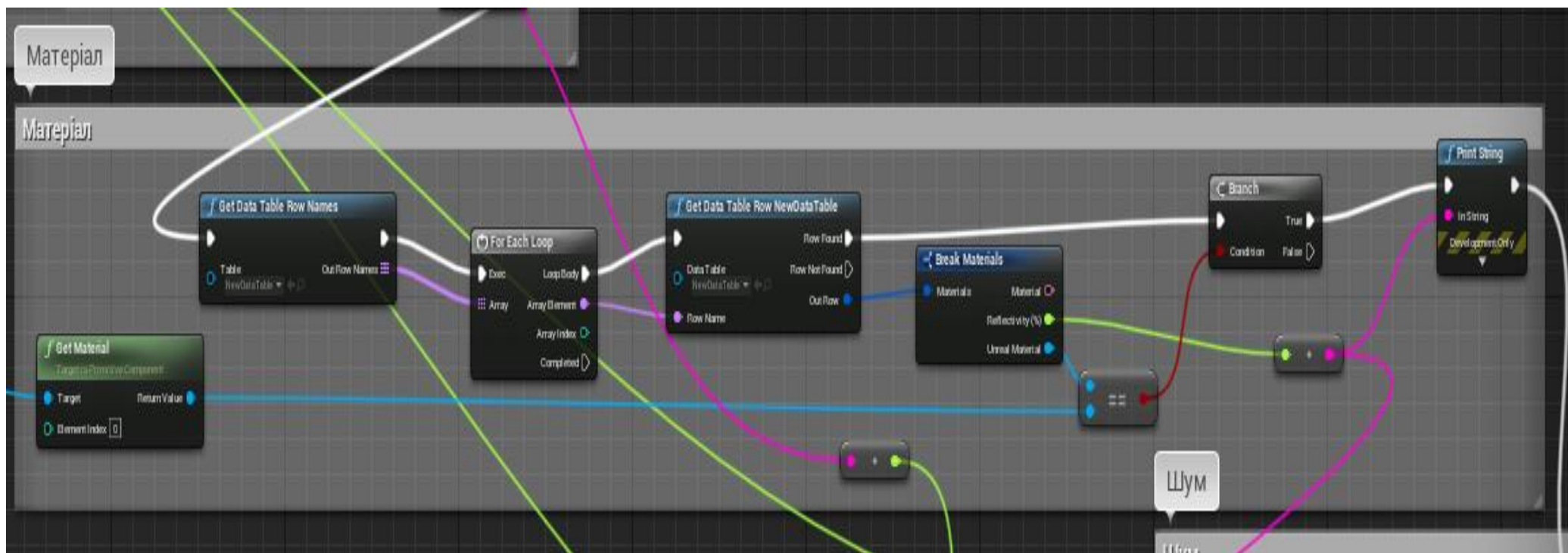


Рис.3.42. Знаходження відбивної здатності матеріалу в середовищі Blueprint Unreal Engine.

Для визначення точності кутових вимірів та точності вимірювання відстані, тобто «шуму» ми використаємо формулу:

$$\text{Range error} = \text{distance} * 0,00001 + 1,2$$

Розрахунок у середовищі «UE Blueprint» на (рис.3.43.)

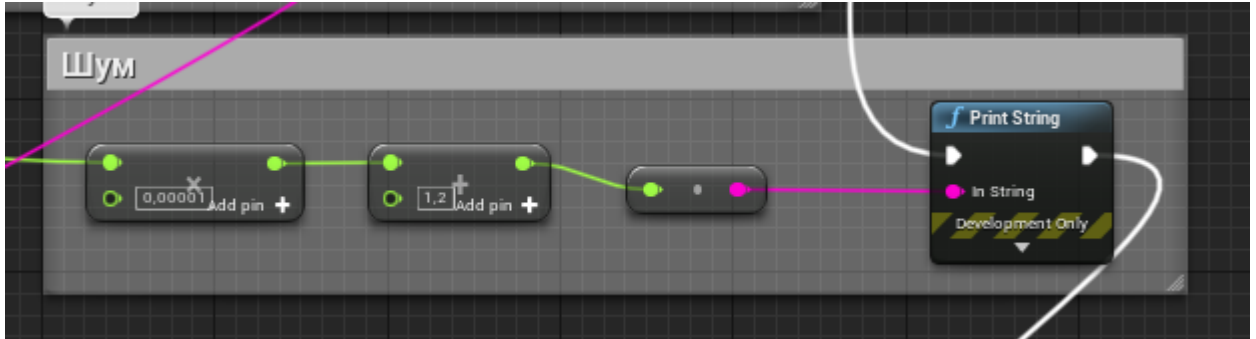


Рис.3.43.Розрахунок шуму в середовищі Blueprint Unreal Engine.

Результат буде виводитися червоним кольором(рис.3.44) та (рис.3.45.)

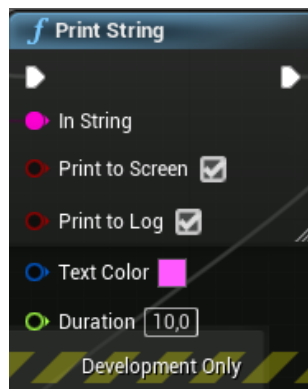


Рис.3.44.«print string».



Рис.3.45.Результат.

Визначаємо інтенсивність лазерного променя за формулою:

$$i = C * \rho * \cos\theta * R^{-2}.$$

де

$\rho$ - відбивна здатність матеріалу

$\theta$ - кут падіння

C- стала величина для кожного сканера (приймаємо 25)

R – відстань до об'єкта

Розрахунок на (рис.3.46)

Повний «blueprint» знаходження інтенсивності лазерного променя(рис.3.46)

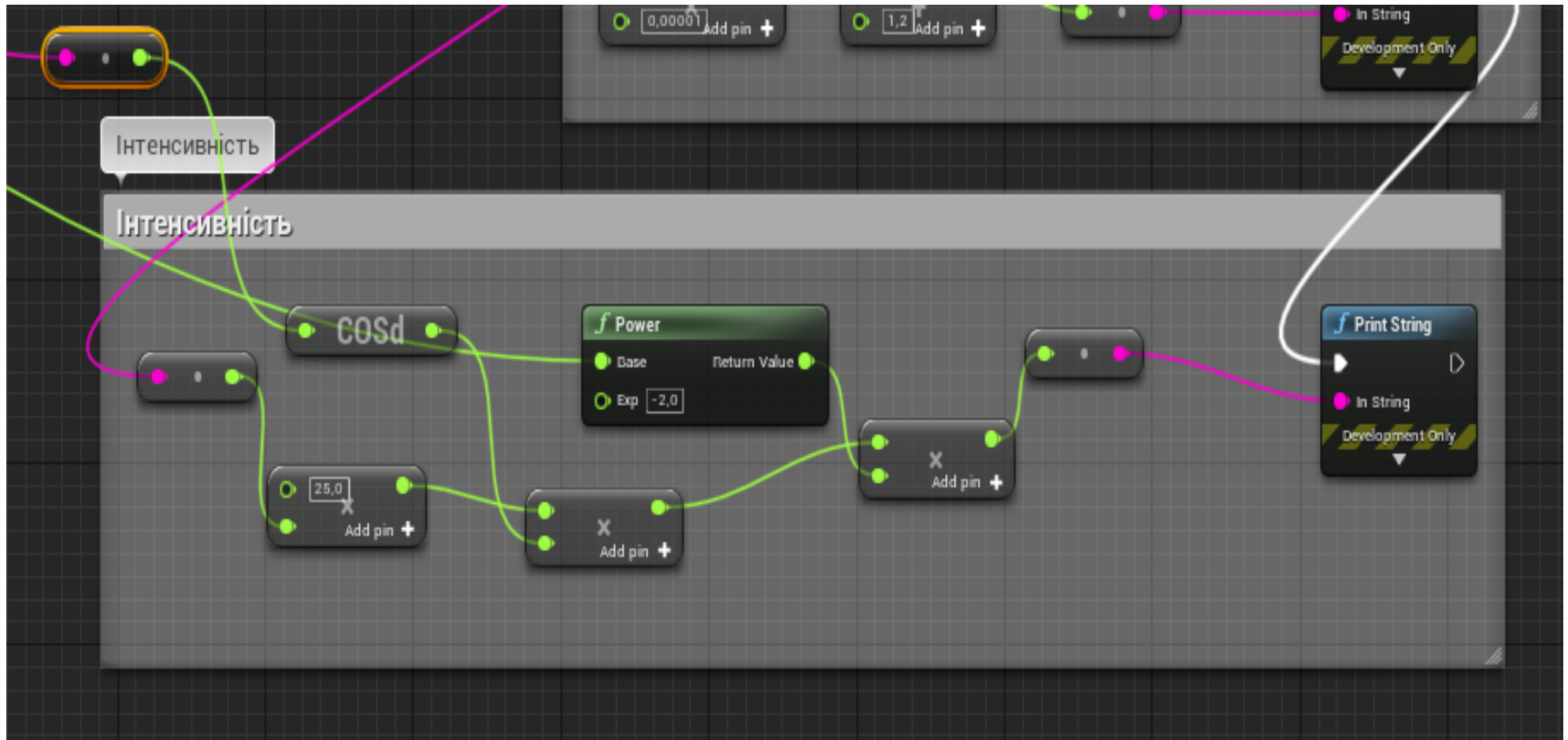


Рис.3.46. Знаходження інтенсивності лазерного променя в середовищі Blueprint Unreal Engine.

Реалізація функцій лазерного променя на мові «Blueprint Visual Scripting».(рис.3.47)

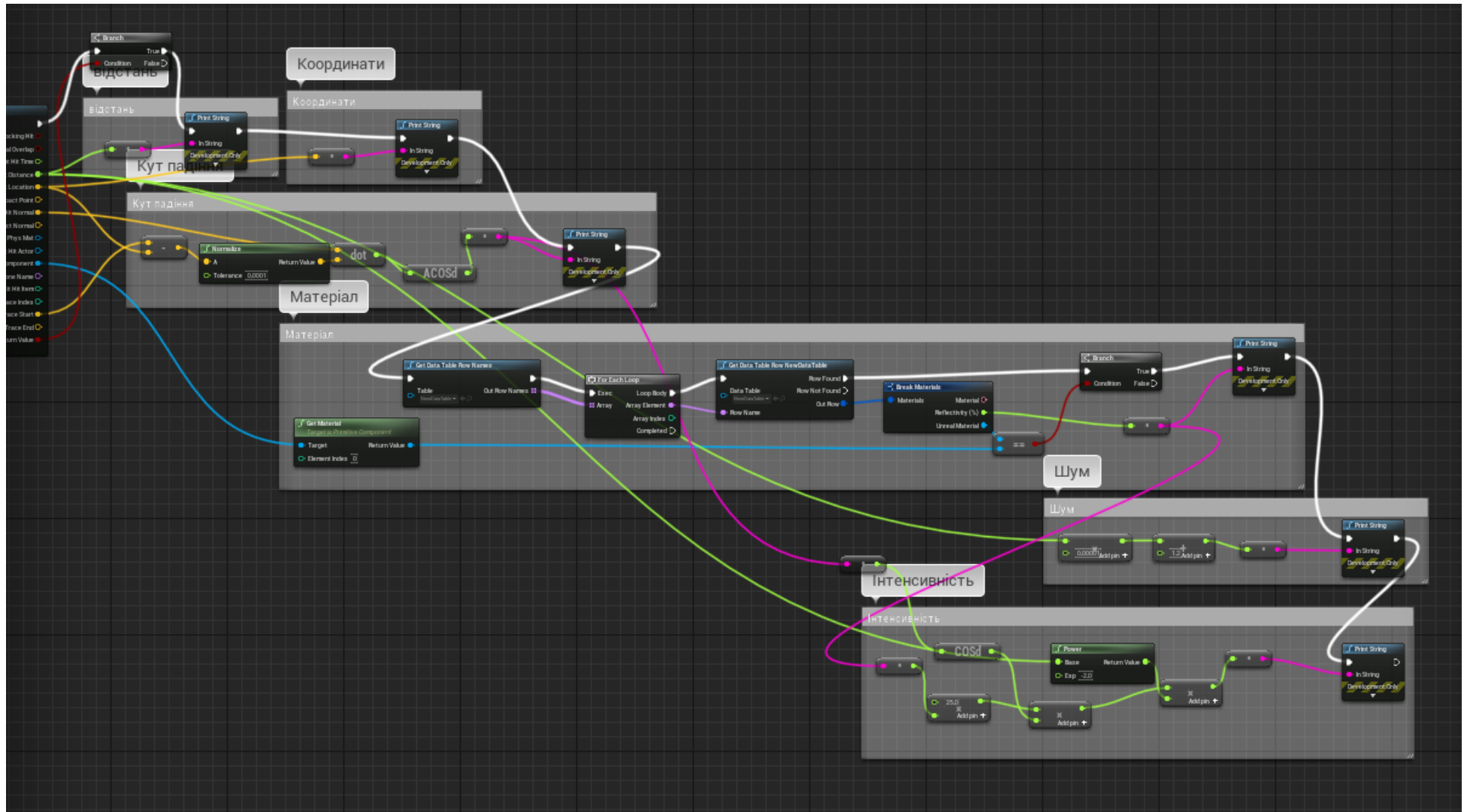


Рис.3.47. Реалізація функцій лазерного променя на мові «Blueprint Visual Scripting».

Візуалізація лазерного променя і результатів у правому верхньому куті в середовищі «Unreal Engine».(рис.3.48)

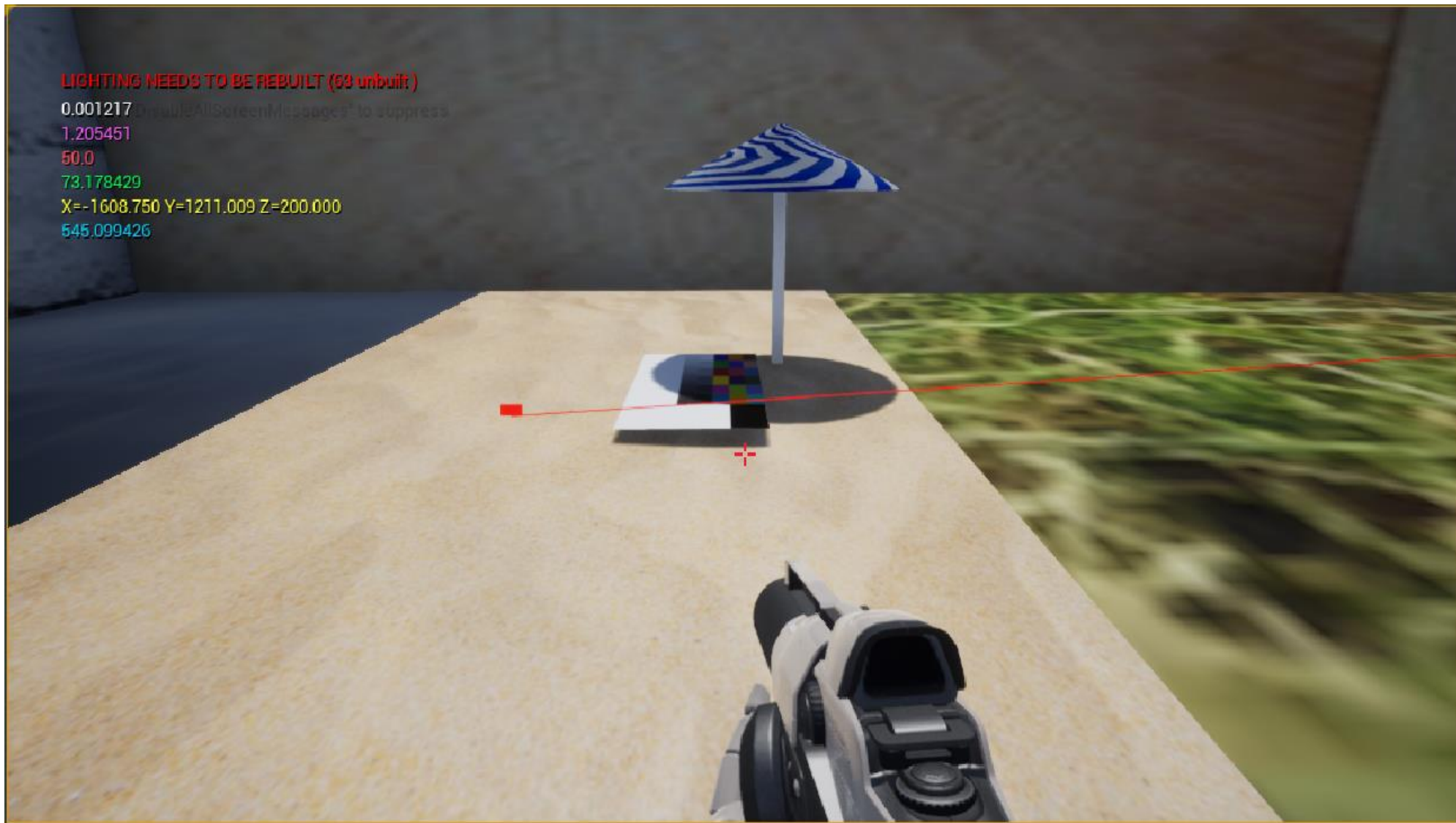


Рис.3.48. Візуалізація лазерного променя і результатів у правому верхньому куті в середовищі «Unreal Engine»

Візуалізація лазерного променя і результатів у правому верхньому куті в середовищі «Unreal Engine».(рис.3.49)



Рис.3.49. Візуалізація лазерного променя і результатів у правому верхньому куті в середовищі «Unreal Engine».

## Створення симуляції хмари точок

Створюємо відрізок с початковою і кінцевою точкою на шляху якого буде перевірка на наявність об'єкта. Для того, щоб визначити координати випускаемого променя отримаємо силку на камеру головного персонажа и витянемо із неї її координати за допомогою «Get world location». Потім потрібно визначити координати точку, де буде завершуватися перевірка за допомогою трасування. Потрібно взяти почальні координати відрізка і додати до них довжину. Для того щоб зрозуміти куди направлений головний персонаж, витягуємо с головного персонажа «Get forward vector». Таким чином ми отримаємо точку координат, яка розташована перед об'єктом. Умножимо цю координату на число довжини променю. Умножимо «Get forward vector» на число «float». Використовуємо функцію «Line trace by channel» (рис.3.50.)

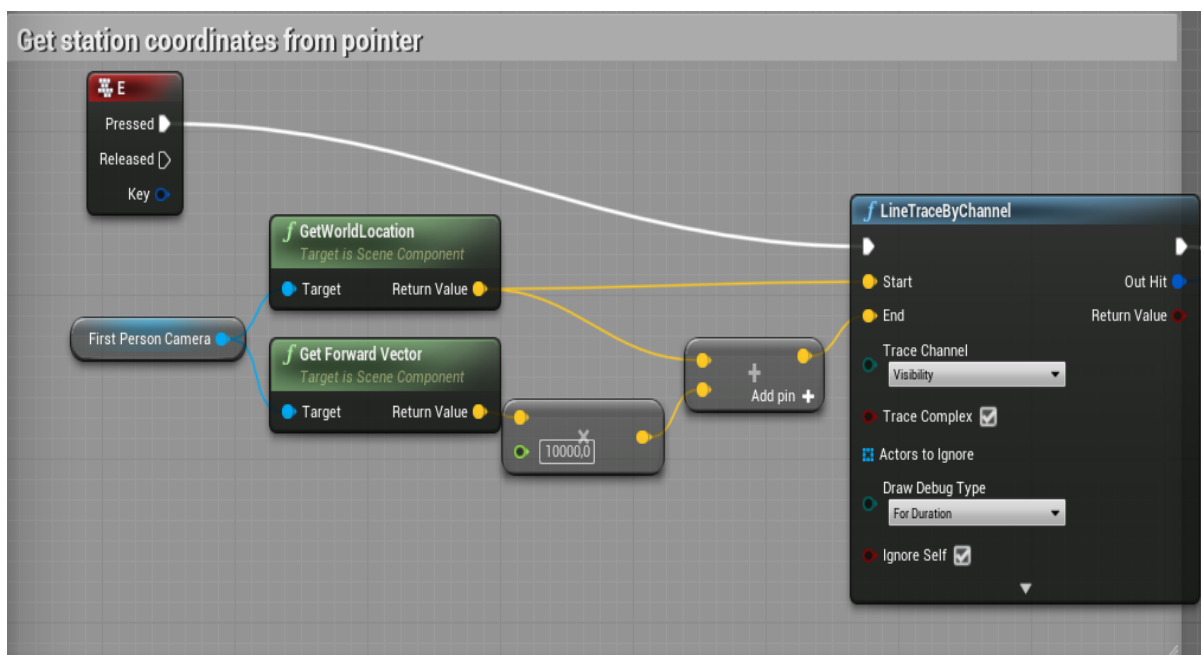


Рис.3.50. отримання координат станції «Blueprint Visual Scripting».

Розбиваємо структуру даних можна за допомогою «Break hit result»(рис.3.51.)

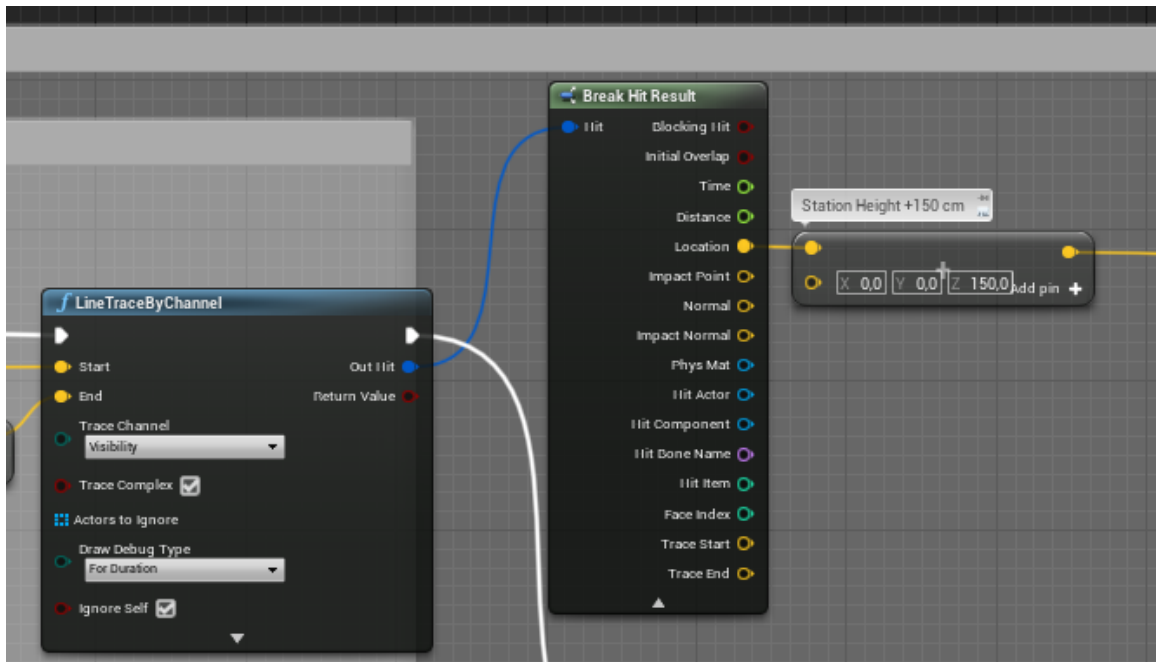


Рис.3.51. «Break hit result».

Встановлюємо значення змінної «set» та зациклюємо промінь за допомогою подвійного циклу «for loop». За допомогою функції «Make Rotator»(Створює обертання у градусах) та «Make transform» повертаєм промінь в горизонтальному та вертикальному напрямку, що симулює обертання НЛЗ.(рис.3.52.)

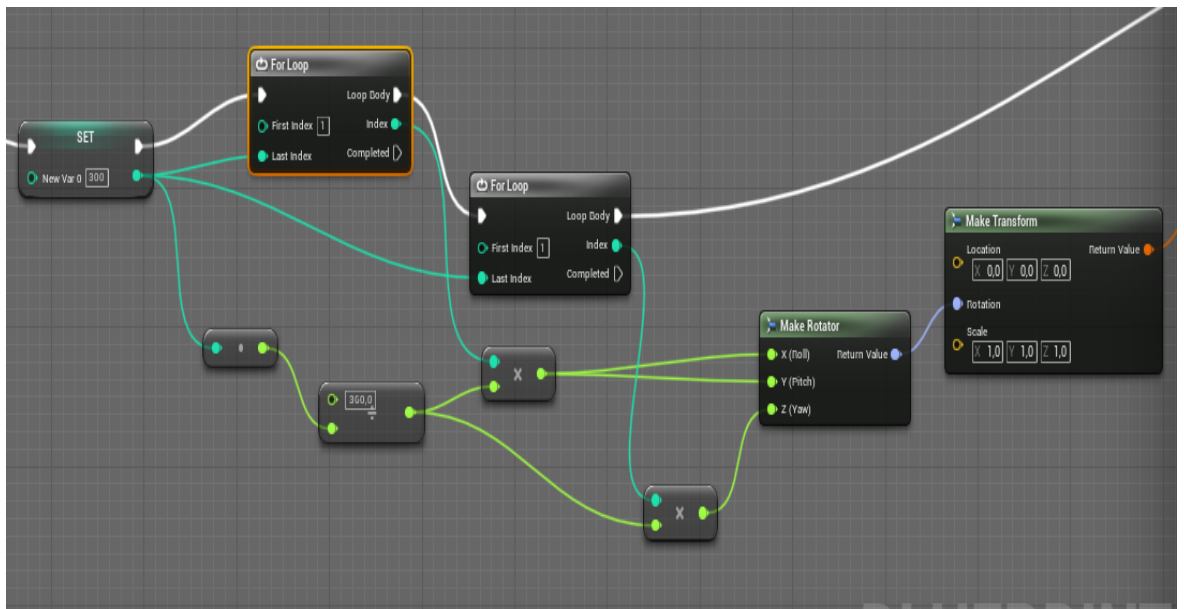


Рис.3.52. Подвійний цикл.

Потім використовуємо «Transform direction» для перетворення поданого вектора с локальних координат у світові.(рис.3.53.)

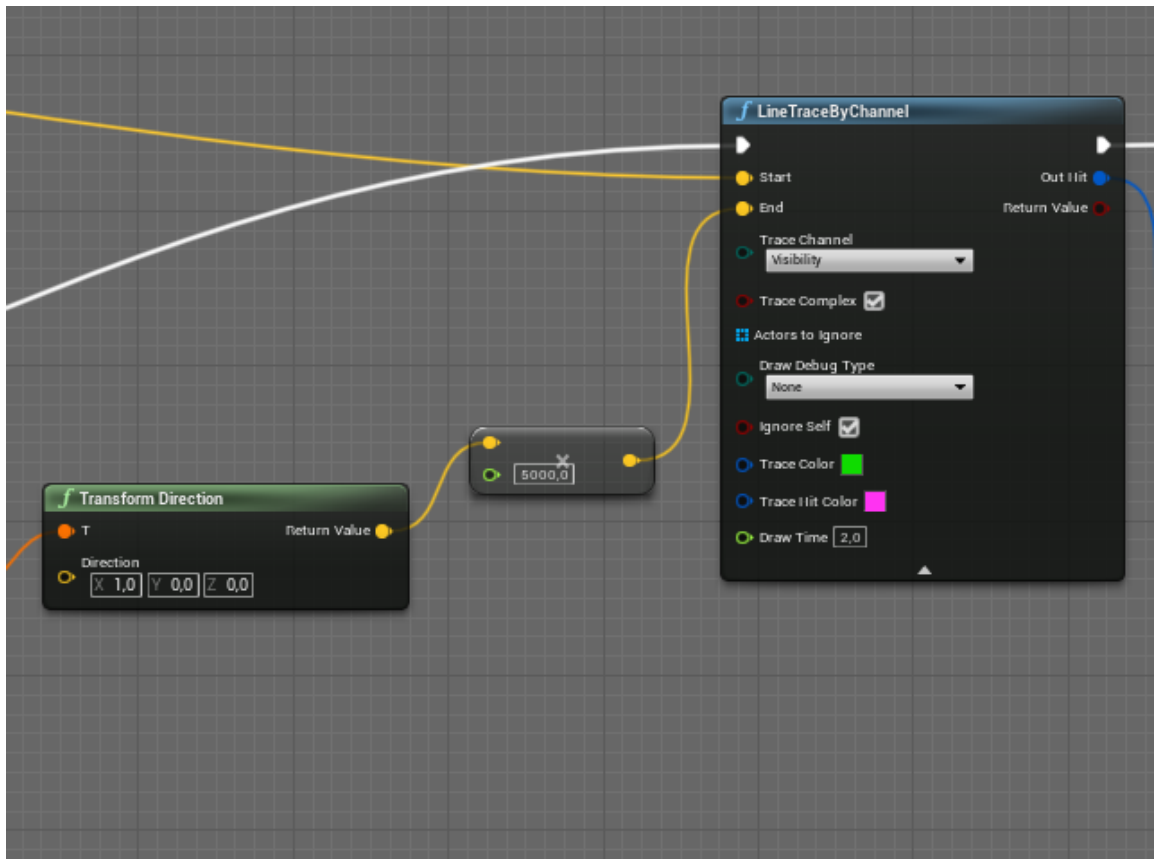


Рис.3.53. «Transform direction».

Виводимо результати.(рис.3.54.)

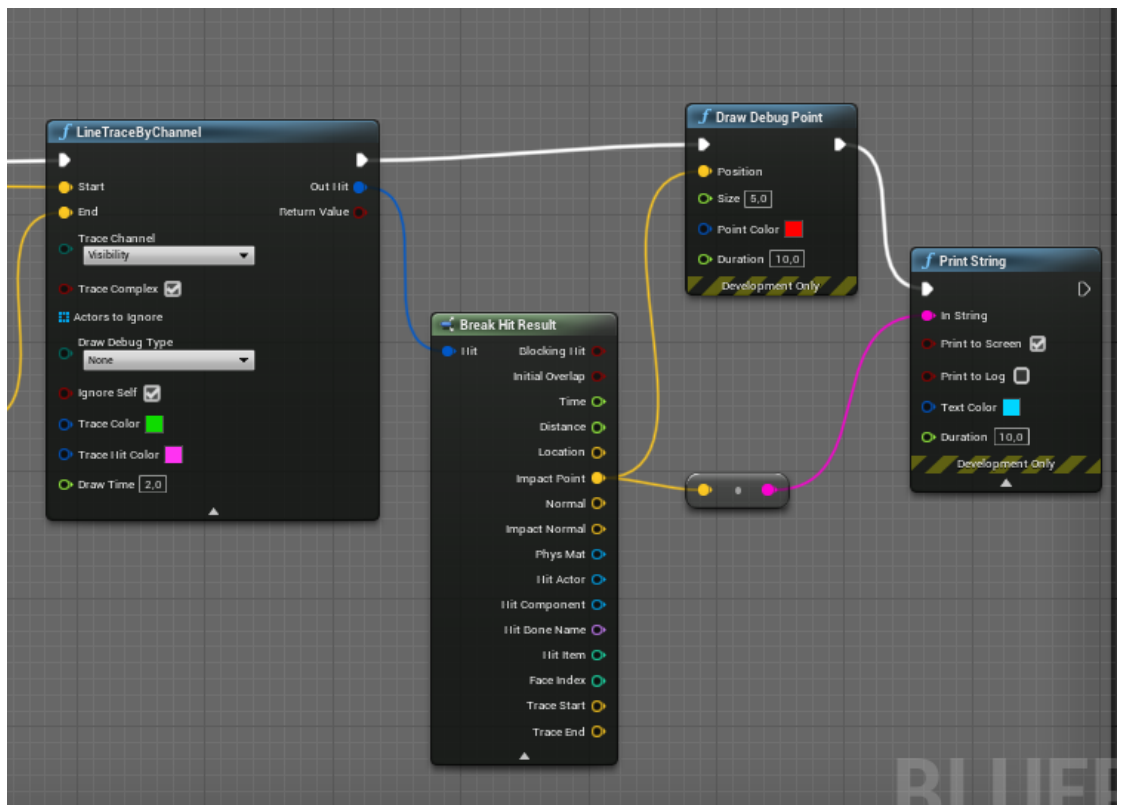


Рис.3.54.Виведення результатів.

Реалізація симуляції хмари точок на мові «Blueprint Visual Scripting».(рис.3.55)

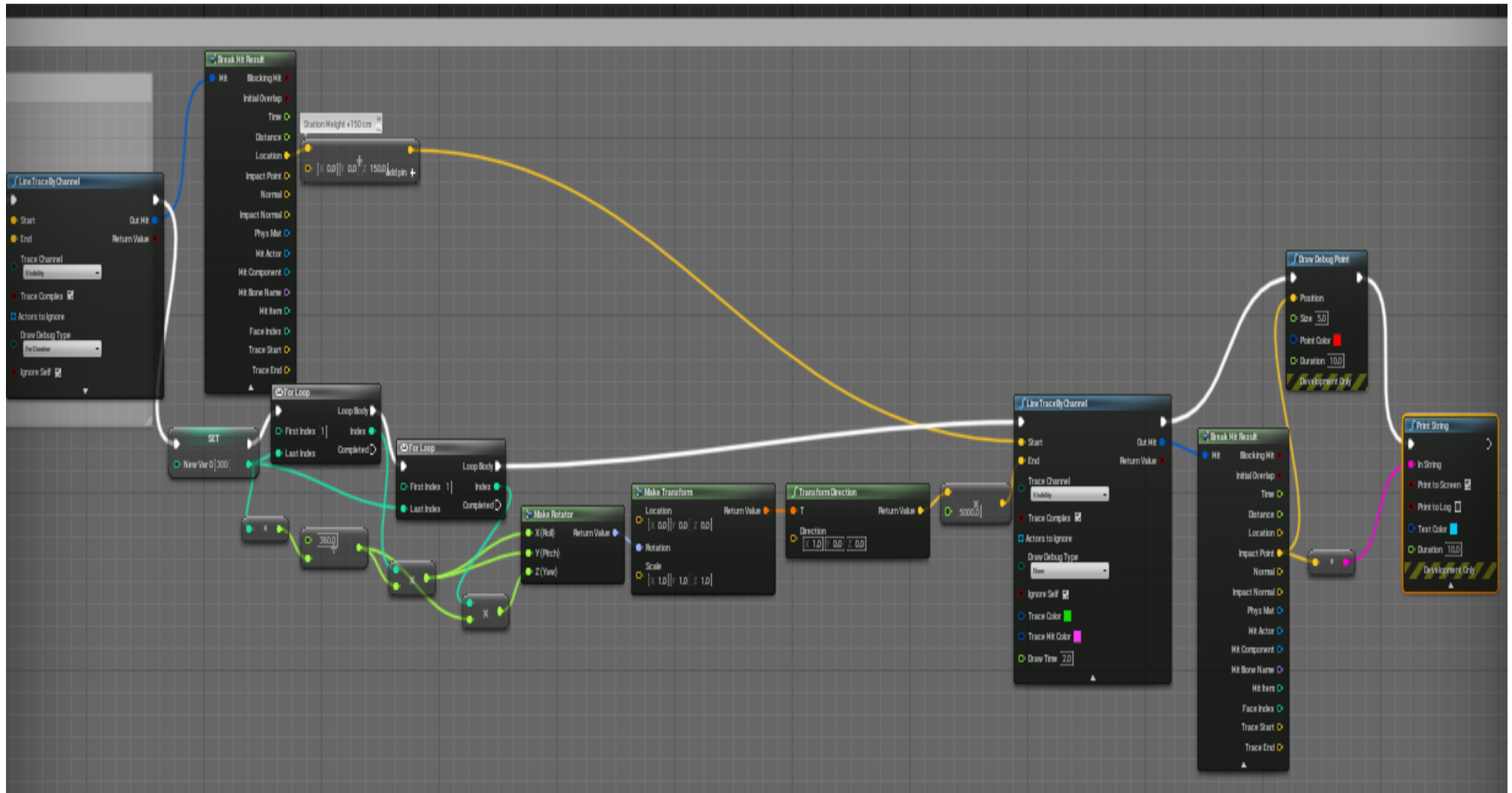


Рис.3.55. Реалізація симуляції хмари точок на мові «Blueprint Visual Scripting».

Візуалізація хмари точок в середовищі «Unreal Engine». (рис.3.56)

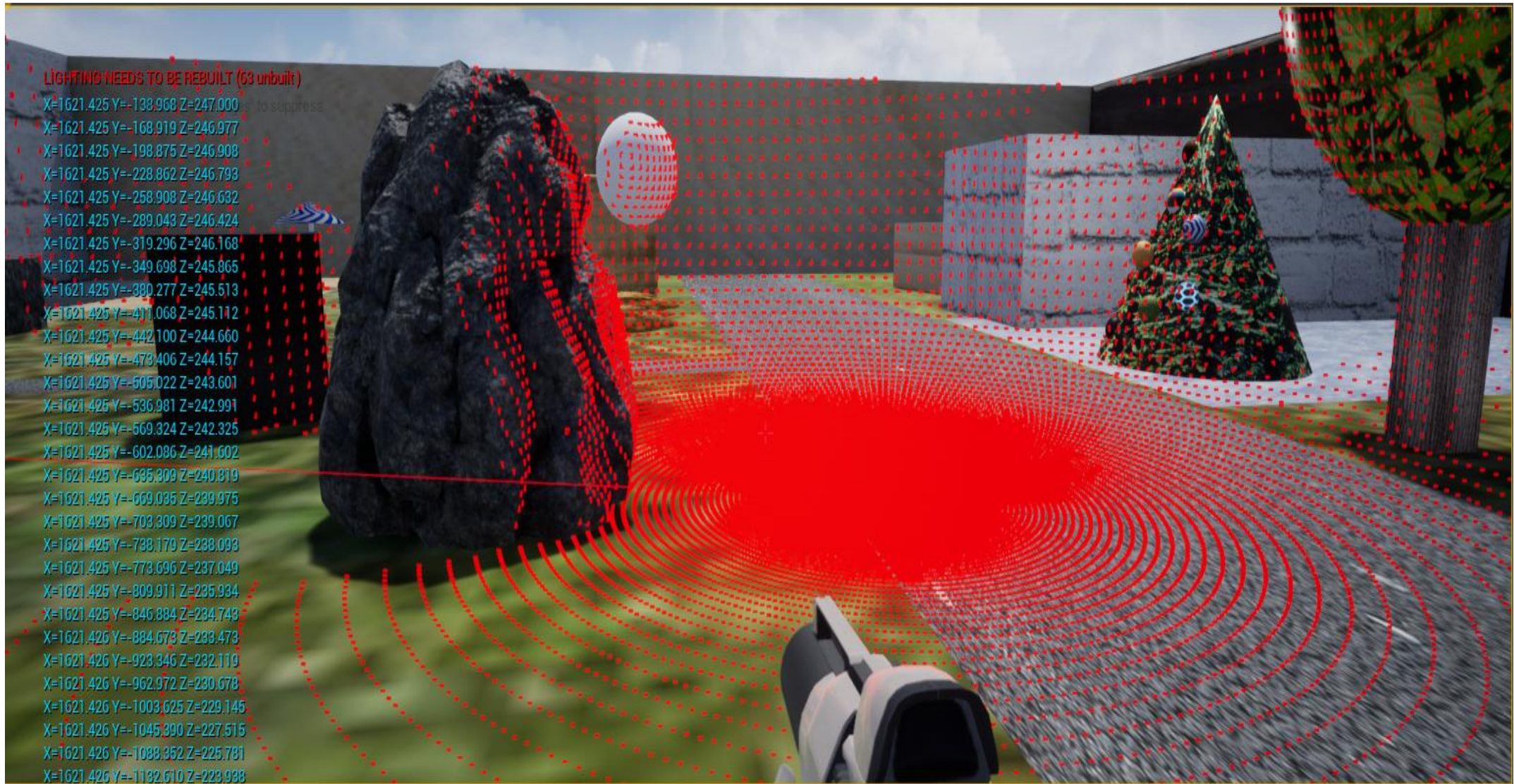


Рис.3.56. Візуалізація хмари точок в середовищі «Unreal Engine».

Візуалізація хмари точок в середовищі «Unreal Engine». (рис.3.57)

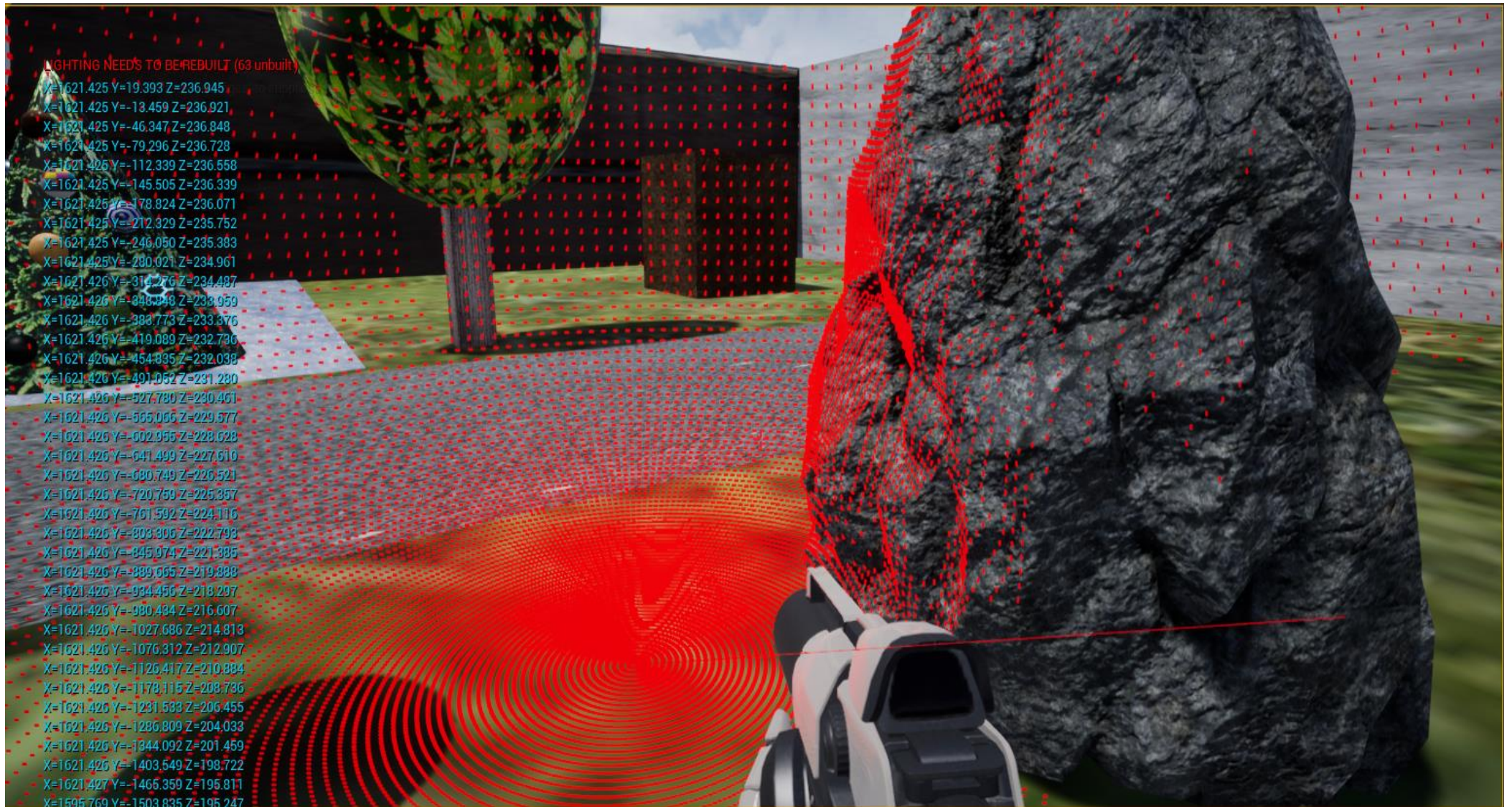


Рис.3.57. Візуалізація хмари точок в середовищі «Unreal Engine».

### 3.3. Оцінка результатів симуляції

Переваги віртуальної симуляції:

- Симуляція сканування в реальному часі відповідає реальній роботі зі сканером.
- Швидкість симуляції така ж як при реальному скануванні.
- Для використання віртуального лазерного сканера (ВЛС) не потрібне дороге обладнання
- Немає залежності від погодніх умов і інших моментів які не дозволяють працювати зі НЛС у польових умовах.
- Є можливість працювати дистанційно, що дуже актуально на сьогоднішній момент, у зв'язку з пандемією.
- Можливість змінювати характеристики ВЛС, що робить можливим тестувати різні типи сканерів.

Недоліки:

- Складність симулювання інтенсивності різних матеріалів в межах одного об'єкта (наприклад листя і стовбур дерева)
- Симуляція інтенсивності не 100% відповідає інтенсивності реальних сканерів, оскільки виробники сканерів часто додатково «покращують» результати, наприклад нівелюючи зміну інтенсивності при зміні відстані.

Зрівнюючи результати наземного лазерного сканера і віртуального можна побачити, що ВЛС виконує функцію сканування, створює хмару точок яка описує геометрію об'єкта.(рис.3.58.) , (рис.3.59.) и (рис.3.60.).

Різниця у щільності точок та градації кольору за дальністю. Але це можна виставити у налаштуваннях.

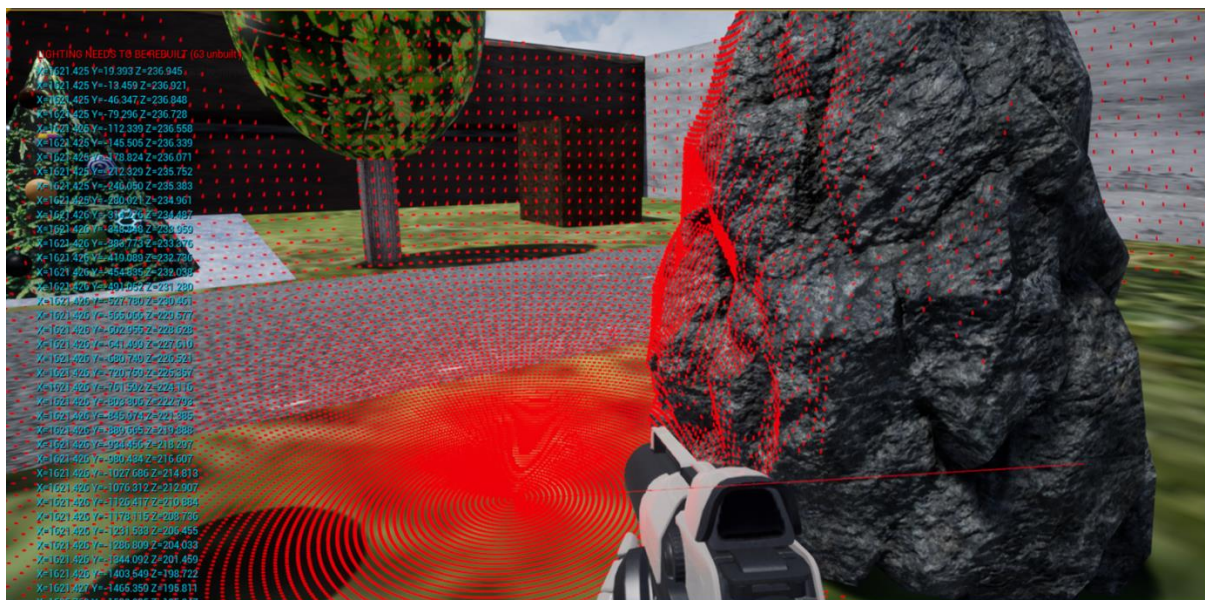


Рис.3.58.Віртуальна симуляція лазерного сканера.

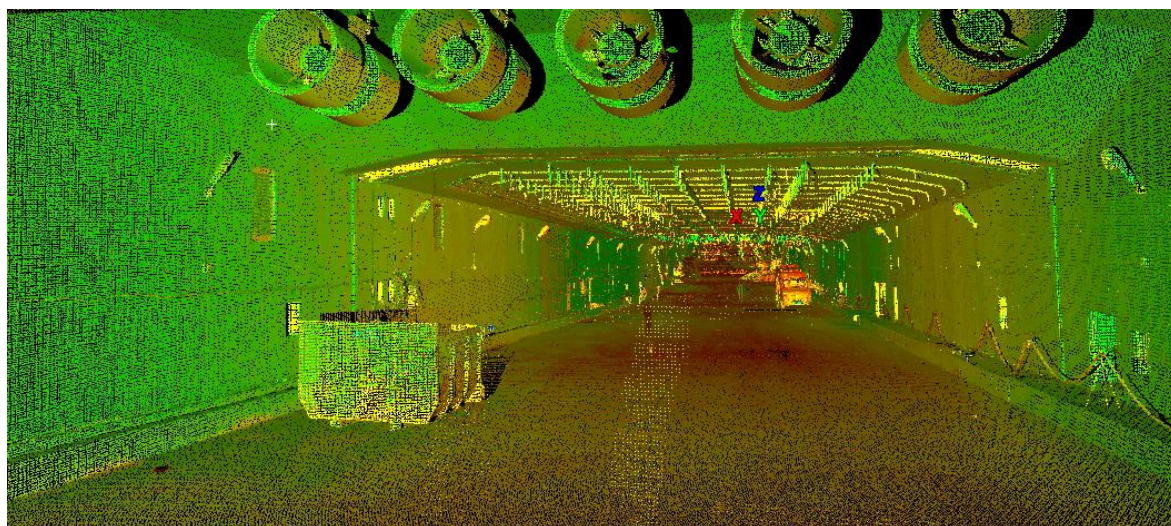


Рис.3.59. скан Leica ScanStation P20 и Leica RTC360.



Рис.3.60 скан Leica BLK360

### **Висновки до розділу 3.**

Було розглянуто налаштування середовища Unreal Engine для роботи з хмарами точок;

Виконана реалізація функцій лазерного променя на мові «Blueprint Visual Scripting» серед яких:

- Визначення довжини променя
- Визначення кута падіння від нормалі об'єкта до випущеного променя
- Визначення координат
- Визначення матеріалу та відбивну здатність матеріалу.
- Розрахована інтенсивність лазерного променя за формулою

Також було розроблено симуляцію хмари точок на мові «Blueprint Visual Scripting».

Проведена оцінка результатів симуляції;

## **ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ**

Лазерні сканери все ще дуже дорогі, і навряд чи вони стануть значно доступнішими в осяжному майбутньому. Однак існують випадки використання, коли може бути можливо замінити роботу справжнього лазерного сканера комп'ютерним моделюванням, що призведе до значного зменшення витрат та зусиль. Якщо фокус зацікавленості в операції лазерного сканування полягає в отриманні якихось конкретних реальних даних, це ніколи не може бути замінено імітацією. Однак у дослідженнях лазерного сканування є багато питань, відповіді на які полягають не у фактичному змісті захоплених даних, а в їх структурних характеристиках, і їх цілком можна відтворити в змодельованому середовищі. Можливими випадками використання симулятора лазерного сканування є, наприклад, дослідження та планування стратегій сканування, навчання та навчання лазерного сканування.

Тобто в найближчому майбутньому перспективність і темпи впровадження технологій VR/AR/MR будуть зростати. Також засоби навчання розроблені на основі віртуальної реальності стануть вагомою частиною навчання.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. [Електронний ресурс] <https://lenta.ru/articles/2017/07/07/ar/>
2. [Електронний ресурс] <https://www.cio.ru/articles/050917-Kak-podgotovit-predpriyatiya-k-prihodu-virtualnoy-dopolnennoy-i-smeshannoy-realnosti>.
3. [Електронний ресурс] Википедия: свободная энциклопедия URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Индустрия\\_компьютерных\\_игр](https://ru.wikipedia.org/wiki/Индустрия_компьютерных_игр)
4. [Електронний ресурс] SUPERDATA: аналитическая компания URL: <https://www.superdataresearch.com>
5. [Електронний ресурс] 9 сфер применения виртуальной реальности: размеры рынка и перспективы <https://vc.ru/flood/13837-vr-use>
- 6.[Стаття]HELIOS: A MULTI-PURPOSE LIDAR SIMULATION FRAMEWORK FOR RESEARCH,PLANNING AND TRAINING OF LASER SCANNING OPERATIONS WITH AIRBORNE,GROUND-BASED MOBILE AND STATIONARY PLATFORMS. Bechtolda, B. Hofle "Institute of Geography, GIScience, LiDAR Research Group (LRG), Heidelberg University, Heidelberg, Germany
7. [Електронний ресурс] <https://www.3deling.com/3d-virtual-reality/>
8. [Електронний ресурс] <https://leica-geosystems.com/ru/case-studies/reality-capture/transforming-reality-into-photorealistic-virtual-reality-with-laser-scanning/>
9. [Електронний ресурс] Виртуальная академия URL: <http://vacademia.com/site/info>

# ДОДАТКИ

					МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Виконав		Авраменко К.О.			<i>Симуляція інтенсивності лазерного променя в середовищі віртуального лазерного сканера</i>	Літ.	Арк.	Аркушів
Консульт.								
Керівник		Горковчук Д.В.						
Зав. каф.		Карпінський Ю.О.						
					КНУБА, група ГІСТ-61			