

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



**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ**

на тему Створення *game-ready* моделі пістолета
(назва кваліфікаційної роботи згідно наказу ОНТУ)
«Springfield Echelon» з ігровими анімаціями

Здобувача Дядько М. Р.
(прізвище, ініціали)

4 курсу 542 групи

Керівники: асистент Колумба І.В.
(посада, прізвище та ініціали)
к.т.н., доцент Шестопалов С.В.
(посада, прізвище та ініціали)

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

Кваліфікаційна робота допускається до захисту

Рішення кафедри від 05.06 2024 р., протокол № 8

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

Одеса – 2024 рік

ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

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

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Дядько Марка Робертовича

1. Тема роботи Створення game-ready моделі пістолета «Springfield Echelon» з ігровими
анімаціями.

Затверджена наказом університету від « 30 » серпня 2024 р., наказ № 442-03

2 Термін здачі здобувачем закінченої роботи 28 травня 2024 р.

3. Вихідні дані роботи

1. 3D-пакет «Blender». 2. 3D-пакет «ZBrush». 3. 3D-пакет «Marmoset Toolbag 4».

4. ПО для текстурування «Adobe Substance 3D Painter». 5. Растровий редактор зображень
«Adobe Photoshop». 6. «Microsoft Office PowerPoint» 7. «Microsoft Office Word».

4. Перелік питань, які потрібно розробити

1. Вступ. 2. Дослідження предметної області. 3. Визначення технологій створення.
game-ready моделей 4. Розробка 3D-моделі 5. Економічні розрахунки 6. Охорона праці.
7. Загальні висновки

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

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

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
<i>Економіка</i>	<i>Phd, ст. викл. Богданов О.О.</i>		
<i>Охорона праці</i>	<i>ст. викл. Слушна Н.В.</i>		
<i>Нормоконтроль</i>	<i>асистент Колумба І.В.</i>		

7. Дата видачі завдання 30.08.2023

Керівники Ірина КОЛУМБА

Сергій ШЕСТОПАЛОВ

Завдання прийняв до виконання Марк ДЯДЬО

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	<i>Дослідження предметної області</i>	<i>28.10.2023</i>	
2.	<i>Визначення технологій створення game-ready моделей</i>	<i>29.11.2023</i>	
3.	<i>Розробка 3D-моделі</i>	<i>27.04.2024</i>	
4.	<i>Економічні розрахунки</i>	<i>14.05.2024</i>	
5.	<i>Підготовка розділу охорони праці</i>	<i>15.05.2024</i>	
6.	<i>Оформлення пояснювальної записки</i>	<i>26.05.2024</i>	
7.	<i>Створення та монтаж відеоролика</i>	<i>26.05.2024</i>	
8.	<i>Оформлення графічної частини</i>	<i>27.05.2024</i>	

Здобувач-дипломник Марк ДЯДЬО

Керівники роботи Ірина КОЛУМБА

Сергій ШЕСТОПАЛОВ

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

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

Здобувач-дипломник Марк ДЯДЬО

АНОТАЦІЯ

Дипломна робота присвячена створенню *game-ready 3D* моделі пістолету *Springfield Echelon*, яка буде оптимізована для відображення у реальному часі в іграх та ігрових двигунах.

Game-ready моделі використовуються в іграх для економії ресурсів комп'ютера та забезпечення найменшого впливу на швидкість роботи гри, при цьому не втрачаючи деталізації самого об'єкту та відображення його щонайближче до його високодеталізованої моделі, використовуючи більш економні методи відображення моделі – для цього використовується спрощення топології моделі, використання карт нормалей, металевості та шерохватості для відображення дрібних деталей та потертостей, майже не витрачаючи обчислювальних ресурсів.

В першому розділі розглянуто історію *3D*-графіки у відеоіграх та особливості створення *game-ready* моделей в сучасних проектах.

В другому розділі сформоване технічне завдання, розроблений пайплайн роботи.

У третьому розділі обґрунтовано вибір ПО та описано процес розробки *3D*-моделі.

У четвертому розділі проведена оцінка ефективності розробки.

У п'ятому розділі розглянуто питання охорони праці.

Результатом роботи є *3D*-модель пістолету «*Springfield Echelon*» з набором ігрових анімацій у форматі *FBX* а також відеоролик у форматі *MP4* для демонстрації.

Ключові слова: *game-ready* асети, ігровий рушій, *3D*-моделювання, шутер від першої особи

ABSTRACT

The thesis is devoted to creation of game-ready 3D-Model of "Springfield Echelon" handgun,

which is going to be optimized for real-time rendering in game engines. Game-ready models are used in games to conserve PC computing resources and providing the lowest impact on game performance while preserving object's details and showing it as close to original high-detailed model, using more efficient methods of rendering - it could be simplifying model's topology, using normal, metal and roughness maps for showing small details and imperfections nearly not losing computing resources.

First section researches history of 3D-graphics in videogames and peculiarities of creating a game-ready models in modern projects.

In second section a technical task is formed and working pipeline is developed.

Third section shows process of developing a 3D-model and reasons for software choices.

Fourth section shows

Fifth section deals with labor protection issues

The result of work is going to be 3D-Model of "Springfield Echelon" handgun with a set of game animations packed in FBX format and an MP4 video for the demonstration.

Keywords: *Game-ready assets, game engine, 3D-modeling, first person shooter.*

ЗМІСТ

	стор.
ВСТУП	9
РОЗДІЛ 1 ДОСЛІДЖЕННЯ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ	10
1.1 Дослідження 3D графіки та її розвиток	10
1.2 Принцип дії сучасної 3D-графіки в іграх	15
1.3 Огляд реалізації та деталізації зброї в інших проектах	16
1.4 Інструменти, які використовуються для роботи з 3D графікою	22
1.5 Розробка технічного завдання.....	25
Висновки до першого розділу.....	26
РОЗДІЛ 2 ВИЗНАЧЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ТА Проектування.....	27
2.1 Розробка пайплайну створення 3D моделі	27
2.2 Обґрунтування вибору програмного забезпечення.....	28
2.2.1 <i>Blender</i>	28
2.2.2 <i>ZBrush</i>	29
2.2.3 <i>Marmoset Toolbag 4</i>	30
2.2.4 <i>Substance 3D Painter та Adobe Photoshop</i>	31
2.3 Дослідження основних технологій.....	32
2.3.1 Збір референсів.....	32
2.3.2 Технології створення високодеталізованої моделі.....	35
2.3.3 Технології створення низькодеталізованої моделі.....	41
2.3.4 Технології запікання деталізації на карту нормалей.....	43
2.3.5 Технології текстурування.....	45
2.3.6 Технології створення анімації	46

					КРБ.КІ.1.442-03.1.7			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Створення <i>game-ready</i> моделі пістолета « <i>Springfield</i> <i>Echelon</i> » з ігровими анімаціями	Літ.	Арк.	Акрушів
Розробив		Марк ДЯДЬО						
Перевірив		Ірина КОЛУМБА						
Рецензент		Олександр ЛАТЕНКО						
Нормоконтроль		Ірина КОЛУМБА						
Затвердив		Сергій АРТЕМЕНКО			зр. 542, ОНТУ			

Висновки до другого розділу	48
РОЗДІЛ 3 Реалізація проекту	49
3.1 Підготовка програмного забезпечення та сцени.....	49
3.2 Розробка високодеталізованої моделі	51
3.3 Розробка низькодеталізованої моделі та UV розгортки	61
3.4 Запікання та текстурування.....	65
3.5 Створення рігу, анімація та монтаж відеоролика	75
3.6 Імпорт до ігрового рушія <i>Unity 3D</i>	80
Висновки до третього розділу.....	84
РОЗДІЛ 4 ЕКОНОМІЧНІ РОЗРАХУНКИ	85
4.1 Організаційно-економічне обґрунтування роботи	85
4.1.1 Огляд аналогів і конкурентів	85
4.1.2 Порівняльний аналіз зброї в різних ігрових проектах, а також порівняння вартості розробки та ціни на моделі.	88
4.2 Визначення мети, результатів роботи та їх вартості	90
4.3 Розрахунок показників економічної ефективності та розробка бізнес плану проекту.	97
Висновки до четвертого розділу.....	99
РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ	101
5.1 Шкідливі та небезпечні фактори в роботі користувача ПК.....	101
5.2 Методи зниження впливу шкідливих та небезпечних факторів при роботі за ПК.	102
5.3 Техніка безпеки при роботі з ПК.....	103
5.4 Вимоги безпеки після закінчення роботи з ПК, та іншою технікою.	104
5.5 Вимоги техніки безпеки в аварійних ситуаціях при роботі з ПК та іншою технікою.	105

Висновки до п'ятого розділу.....	105
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	106
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	107

					<i>КРБ.КІ.1.442-03.1.7</i>	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Сфера розробки ігор за останні 20 років дуже помітно розвинулась разом з обчислювальними потужностями звичайних користувачів ПК та консолей. Сучасні ПК можуть відмальовувати дуже складні і детальні 3D об'єкти і сцени, але в сфері розробки ігор все ще в пріоритеті стоїть швидкодія ігри, тому були створені системи і засоби для економії обчислювальних ресурсів ПК чи консолі.

В сучасних іграх, в тому числі в проектах рівня «AAA», розроблених великими студіями використовують максимально спрощені 3D-моделі з щонайменшою кількістю полігонів, а втрату якості і деталізації компенсують за допомогою карт нормалей, металевості та шерохватості для того щоб зберегти деталізацію, майже не втрачаючи швидкодії порівняно до відмальовування детальної моделі.

Метою дипломної роботи є створення *game-ready* моделі пістолету «*Springfield Echelon*», яка буде щонайближче відображати його реальний прототип, а також створення анімацій пострілу, перезарядження та взаємодії, які використовуються у більшості сучасних *FPS*-шутерах.

Об'єктом дипломної роботи є процес розробки *game-ready* моделей для відеоігр.

Предметом дипломної роботи є огляд пайплайну розробки *game-ready* моделі та програмного забезпечення, яке було використано при роботі.

Основні задачі, які потрібно вирішити в ході роботи:

1. Дослідити інші 3D-моделі зброї з різних проектів
2. Проаналізувати наявні технології, двигуни, 3D редактори
3. Проаналізувати можливості програмного забезпечення для редагування
4. Застосувати вивчене для створення своєї *game-ready* моделі.

Наукова новизна кваліфікаційної роботи полягає в удосконаленні існуючих пайплайнів створення *game-ready* моделей зброї.

					КРБ.КІ.1.442-03.1.7	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

1.1 Дослідження 3D графіки та її розвиток

3D графіка пройшла дуже великий шлях та вдосконалювалась для того щоб сьогодні ми могли побачити вражаючі світи відеоігр прямо на наших моніторах.

Основою проблемою з самого початку були системні вимоги для відображення 3D графіки – у 70-80х роках тільки проводились перші спроби створення полігональної 3D графіки, та відображати її могли тільки найпотужніші обчислювальні машини, а про відображення в реальному часі ще навіть можна було не мріяти.

В сучасності основною проблемою вже є кількість деталізації. Якщо для рендеру та при звичайному просмотрі можна не думати про кількість вершин, то для відображення в реальному часі в двигуні гри дуже важлива швидкодія. Сучасні ігри можуть працювати в 30 або 60 кадрів на секунду, а деякі системи та монітори можуть видавати 120, та навіть 144 кадрів на секунду в роздільній здатності *Full HD*, *2K*, *4K*, та у виключних випадках навіть *8K*.

Перші спроби використання 3D графіки у відеоіграх почались у 70-х роках. Так у 1974 році були створені "*Maze War*" та "*Spasim*". Вони вважаються одними з перших ігор, що використовували тривимірні елементи. Це були примітивні 3D-лабіринти та космічний симулятор з дуже примітивною 3D-графікою, зображуючих космічні кораблі у виді дуже простих геометричних фігур, а сказати, що вони працювали в реальному часі можна було з дуже великою натяжкою.

У 1984 році була створена "*Elite*" Девідом Брабеном та Ієном Беллом. Вона також використовувала векторну графіку для створення тривимірних космічних боїв, але обчислювальні можливості вже дозволяли зробити набагато більш

					КРБ.КІ.1.442-03.1.7	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

динамічну та швидкодіючу гру. Ця гра стала важливою віхою завдяки своїй глибокій механіці та масштабному на той час відкритому світу.

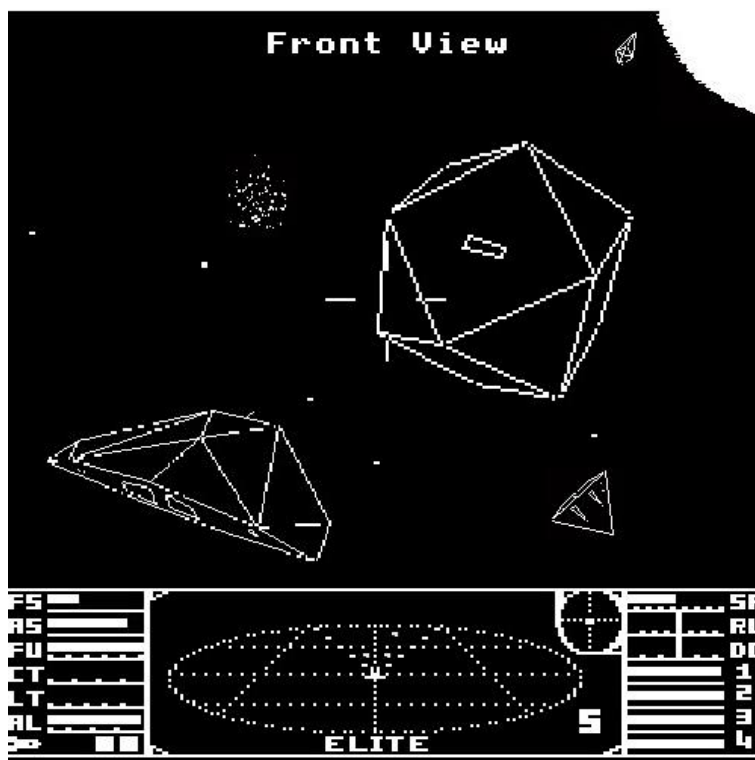


Рис. 1.1 – Скріншот з гри «Elite» 1984 року

У 1992 році був створений «*Wolfenstein 3D*» від *ID Software*. Він вважається першою успішною комерційною грою, що запропонувала перспективу від першої особи. Вона заклала основу для майбутніх *FPS*-ігор, а у 1993 році: «*Doom*», також розроблений *ID Software* підняв жанр *FPS* на новий рівень, запропонувавши покращену графіку та складніші *3D*-рівні.

Ці ігри використовували псевдо-*3D* графіку, що створювало ілюзію тривимірного простору, коли насправді самі рівні та локації були виконані в *2D*-просторі. Переміщення, та навіть погляд угору були неможливі – переміщуватися було можливо лише вперед, назад, вліво та вправо, а цілитися можна було лише обертанням вліво та вправо.

Персонажі, предмети та зброя були виконані плоскими зображеннями в піксельній стилістиці.

					КРБ.КІ.1.442-03.1.7	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рис. 1.2 – Скріншот з гри «*Wolfenstein 3D*» 1992 року

1996 рік: "*Quake*" від *ID Software* стала першою грою з повністю тривимірною графікою, використовуючи справжні полігональні моделі та текстури для створення персонажів та об'єктів.

У цьому ж році був створений "*Super Mario 64*" від *Nintendo*. В цьому проєкті також використовується полігональна 3D-графіка.

Це була революція в жанрі *FPS*. Полігональна графіка у майбутньому стане стандартом у сфері 3D графіки та буде використовуватися як у фільмах та симуляціях, так і у відеоіграх.



Рис. 1.3 – Скріншот з гри «*Quake*» 1996 року

					КРБ.КІ.1.442-03.1.7	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1998 рік - "*Half-Life*" від *Valve Software* продемонструвала передовий геймплей та штучний інтелект у тривимірному середовищі, а також комплексний пророблений сюжет, що підвищило планку для наративних та атмосферних шутерів.

В цій грі також використовувалась полігональна графіка з текстурами кольору. Лицьова анімація була досить примітивною, але на той момент це був прорив в імерсивності ігрових проектів.



Рис. 1.4 – Скріншот з гри «*Half-Life*» 1998 року

Приблизно у 2010х роках стали використовуватися *PBR*-пайплайни (фізично коректний рендерінг). Цей пайплайн дозволяє відобразити гладкість та металевість об'єктів та матеріалів, а також нерівностей за допомогою карт нормалей та висот, які оброблюються шейдерами з підтримкою *PBR*.

«*Crysis*» 2007 року дуже гарно показав як можуть виглядати ігри, випередив конкурентів та використовував всі можливі ресурси навіть самих потужних на той час відеокарт. *Crytek* одні з перших почали використовувати *PBR* пайплайн, який використовується й досі. Завдяки цьому стало можливим передати дуже велику кількість деталей на моделях з відносно низькими витратами обчислювальних потужностей.

					КРБ.КІ.1.442-03.1.7	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13



Рис. 1.5 – Скріншот з гри «Crysis» 2007 року

Сучасні ігри, такі як "Cyberpunk 2077" та "The Last of Us Part II", використовують передові технології, включаючи трасування променів (*ray tracing*), високополігональні моделі та складні системи освітлення для створення фотореалістичної графіки.

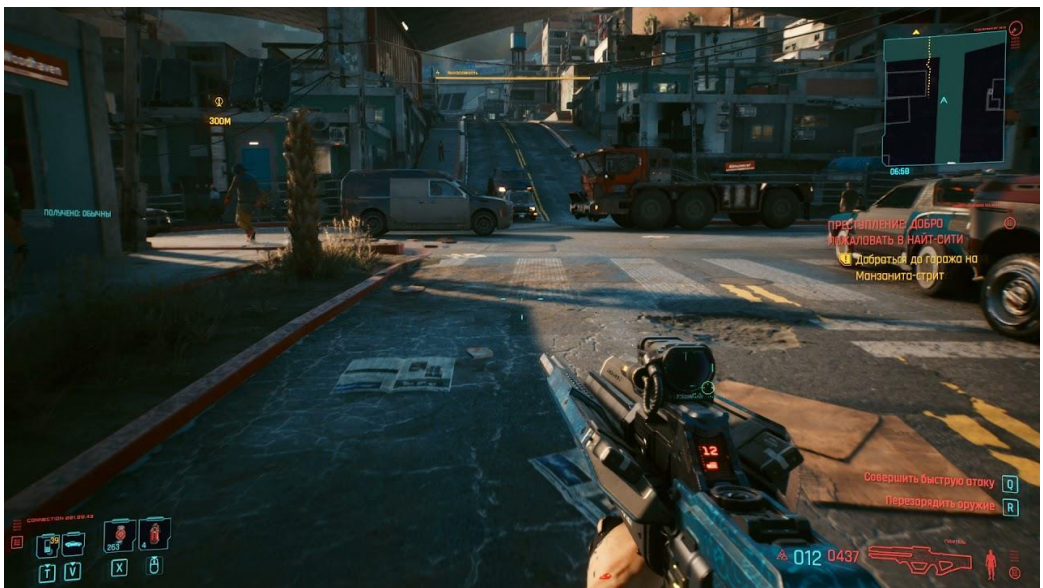


Рис. 1.6 – Скріншот з гри «Cyberpunk 2077» 2020 року

					КРБ.КІ.1.442-03.1.7	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

1.2 Принцип дії сучасної 3D-графіки в іграх

У 3D-графіці вектор нормалі проводиться до кожної точки поверхні моделі, залежно від роботи двигуна: до кожної вершини, кожного окремого полігону або кожної точки об'єкта в просторі.

Сукупність напрямків цих векторів візуалізується як перепади поверхні моделі: виступи, западини та заломи. Якщо різниця між напрямками двох сусідніх векторів велика, то й перепад здаватиметься різкішим.

Відповідно, чим більше полігонів і вершин, і чим більша різниця у векторах нормалей, тим докладніше поверхня моделі і тим різноманітніша деталізація.

В сучасних графічних двигунах є така функція як згладжування (*smoothing*). Вона відповідає за те, наскільки гладким буде перехід від однієї нормалі до іншої.

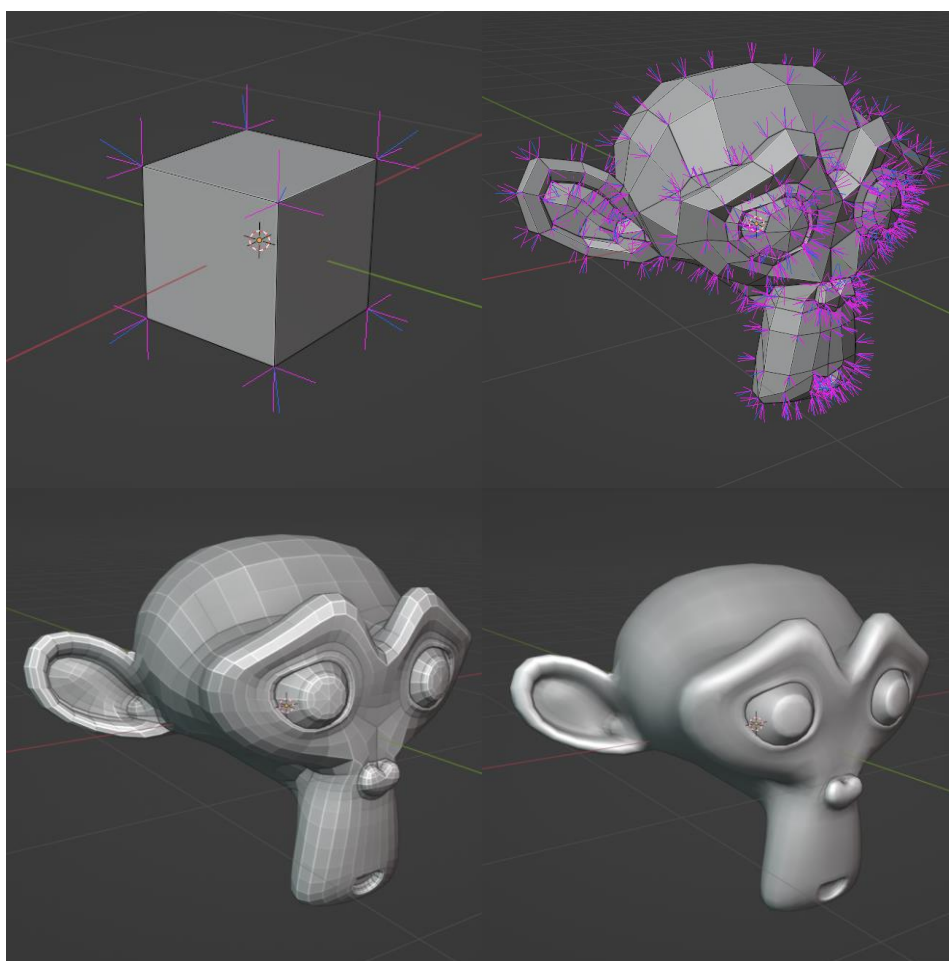


Рис. 1.7 – Відображення моделі з вимкнутим та ввімкнутим згладжуванням

					КРБ.КІ.1.442-03.1.7	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для передачі всіх деталей моделі потрібна велика кількість вершин, але для функціонування ігр потрібно скоротити деталізацію моделі. Для того щоб її зберегти, в сучасних проектах використовують шейдери з підтримкою карт нормалей.

Карта нормалей або *normal map* - специфічна текстурна карта, завдяки якій світло в 3D-програмі або графічному движку гри розуміє, під яким кутом потрібно відбиватися від поверхні моделі.

З її допомогою нормалі проводяться не до вершин чи площин полігонів, а до пікселів накладеної текстурної картки. Таким чином, при русі світла плоскі ділянки об'єкта матимуть тінь і відблиск, ніби на їхньому місці об'ємна геометрія, а не площина.

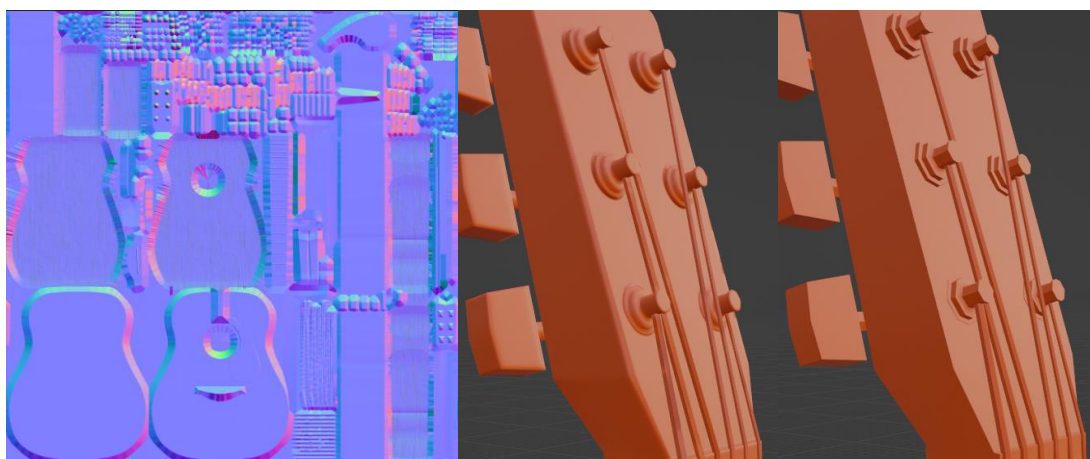


Рис. 1.8 – Різниця моделі з картою нормалей та без

Отримується така карта за рахунок проекції деталей з високополігональної моделі на низькополігональну. Ми спочатку створюємо деталізовану модель, яка може мати декілька мільйонів полігонів, а далі робимо низькополігональну модель за допомогою ручної або алгоритмічної ретопології.

1.3 Огляд реалізації та деталізації зброї в інших проектах

Call Of Duty: Modern Warfare (2019)

Call of Duty: Modern Warfare — дуже відома і популярна відеогра, шутер від першої особи, розробляється *Infinity Ward* і видана *Activision/Blizzard*.

					КРБ.КІ.1.442-03.1.7	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

Гра розроблена в реалістичному сучасному сетингу, відзначається динамікою та відзивчивим управлінням, а також, з останніх років, високим рівнем проробки візуального виду зброї, її поведінки та анімацій.

В іграх *Call of Duty* останніх років є можливо найвища якість реалізації моделей та анімацій зброї. «*Modern Warfare*» саме 2019 року підвищила планку якості проробки як моделей, так і анімацій.

Моделі використовують текстурні карти нормалей, металевості та шорсткості, на зброї передані потертості на рухаючихся деталях, а також на різні рельєфи матеріалів, рукояток та накладок.

На місцях частого хвату є потертості, бруд та відбитки пальців. В труднодоступних місцях показано бруд, пил та потертості від поклання на тверді поверхні.

Досить ретельно пророблено патронник, деякі анімації дуже гарно це демонструють. Анімації пророблені дуже якісно, передана маса об'єктів, інерція від руху, пострілу та взаємодії.

Артефактів запікання або швів помітити неможливо, розгортку було зроблено дуже грамотно, високодеталізовану модель для запікання теж було пророблено грамотно та співпадаючи з низькодеталізованою.

Моделі виглядають дуже реалістично та виконані на височайшому рівні.



Рис. 1.9 – Скріншот з гри «*Call of Duty: Modern Warfare*» 2019 року

					КРБ.КІ.1.442-03.1.7	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Insurgency Sandstorm

Insurgency: Sandstorm – багатокористувальний тактичний шутер від першої особи, в сеттінгу війни на Близькому Сході, розроблений компанією *New World Interactive* і виданий *Focus Home Interactive*.

Відзначається більш повільним, тактичним та реалістичним геймплеєм. Зброя та взаємодія з нею також пророблена на високому рівні. Пророблено деталі патронника а також елементів керування зброєю.

Моделі також використовують текстурні карти нормалей, металевості та шорсткості. Передані забруднення та потертості на труднодоступних місцях моделі.

На деяких місцях присутні зайві потертості, занадто рівномірно розподілені та які не дуже гарно передають можливі взаємодії зі зброєю.

Анімації взаємодії більш стримані та менш експресивні. Але гарно передано почуття маси та інерції.

При деяких умовах освітлення можливо помітити шви розгортки або недосконалості запікання, але це помітно дуже рідко, та тільки за досить специфічних умов.

Взагалі якість моделей на досить високому рівні, але забрудненість можливо було передати краще.



Рис. 1.10 – Скріншот з гри «*Insurgency Sandstorm*» 2018 року

					КРБ.КІ.1.442-03.1.7	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Ready Or Not

Ready or Not — комп'ютерна гра в жанрі тактичного шутера від першої особи, розроблена та видана ірландською компанією *VOID Interactive*, яка розповідає про дії поліцейського спецназу у вигаданому місті Лос-Суенос, охопленому хвилею злочинності. Гра була випущена в ранньому доступі Steam 17 грудня 2021 року. Повноцінний реліз гри відбувся 13 грудня 2023 року.

Анімації та деталізація зброї також на високому рівні. Використовуються карти номалей, металевості та шорсткості. Пророблено патронник.

Передані місця потертості та зтертості краски, досить грамотно розподілено текстури забрудненості, в рифлених та труднодоступних місцях. Сліди доторкань та відбитків пальців знаходяться на логічних та можливих місцях.

Коректно розроблені моделі навесних модифікацій – фонариків, прицелів, лазерних цілевказівників.

Швів розгортки та артефактів при запіканні не помітно, освітлення відбивається коректно та реалістично. Загальна якість виконання моделей на дуже високому рівні.

Анімації досить стримані виглядають тактично і професійно. Гарно передано масу зброї та інерцію рухів.



Рис. 1.11 – Скріншот з гри «*Ready Or Not*» 2021 року

					КРБ.КІ.1.442-03.1.7	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

Squad

Squad – тактичний шутер від першої особи, розроблений канадською студією *Offworld Industries* і випущений самостійно. Дія *Squad* відбувається в сучасності, в ній поєднуються частково реальні та вигадані події.

Акцент також на повільному тактичному геймплеї та реалістичних перестрілках.

Спочатку якість моделей в цьому проекті була на досить середньому рівні, та не відзначалася якістю проробки анімацій взаємодії – більший акцент ставився на тактичній частині геймплею. Після оновлення до версії 2.0 були оновлені графічні аспекти та моделі зброї. Деталізація та анімації тепер не уступають конкурентам.

Моделі тепер досить гарно пророблені, використовують карти нормалей, шорсткості та металевості. Є ефекти зношення та зтертості на місцях доторкання з поверхнями.

Місця доторкання та забрудненості реалізовано на трохи простішому рівні, та виглядають занадто рівномірними, або недостатніми, особливо в сетингу бойових дій.

Анімації з версії 2.0 тепер також пророблено на високому рівні – гарно передано імпакт від пострілу, масу зброї та інерцію при різних рухах.



Рис. 1.13 – Скріншот з гри «Squad» 2020 року

					КРБ.КІ.1.442-03.1.7	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Receiver 2

Receiver 2 – одиночний сюрреалістичний проект від інді-студії «*Wolfire Games*», що складається з 3-х людей. В грі зроблено дуже великий акцент саме на конструкції зброї та детальній взаємодії та оперуванні всіма елементами зброї, навіть запобіжником. Також симулюються заряджання кожного окремого патрону до магазину та патронника, а зі зброєю можуть статися неполадки.

Геймплей дуже повільний та не прощає помилок – гравець може загинути від одного поранення, а боезапас дуже обмежений. З ворогів тільки механічні турелі, але до кожного виду потрібен радикально різний підхід.

Моделі пророблені максимально досконально, присутні всі елементи з реальної зброї, пророблені навіть внутрішні елементи, які дуже трудно побачити та які майже завжди спрощуються в інших проектах.

Використовуються карти нормалей, шорсткості та металевості. Є місця зтертості та зносу, вони розташовані грамотно. Забрудненостей на зброї майже не помітно, але мається на увазі, що зброя знаходиться в майже новому стані.

Моделі рук відсутні, а анімації – процедурні та можуть поєднуватися в залежності від того які дії гравець утримує або одночасно виконує. Пророблено анімації всіх рухомих об'єктів зброї, та дуже гарно передано ефект та силу від пострілу.



Рис. 1.14 – Скріншот з гри «*Receiver 2*» 2020 року

					КРБ.КІ.1.442-03.1.7	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

Порівняльний аналіз конкурентів

Проект	Набір PBR тестур	Якість ефектів зношеності	Якість ефектів бруду	Анімації рук	Якість анімацій
<i>Call Of Duty MW 2019</i>	+	5/5	5/5	+	5/5
<i>Insurgency: Sandstorm</i>	+	4/5	3/5	+	4/5
<i>Ready or Not</i>	+	5/5	4/5	+	5/5
<i>Squad</i>	+	5/5	3/5	+	4/5
<i>Receiver 2</i>	+	5/5	4/5	-	4/5

В наведеній таблиці розподілено та поставлено суб'єктивні оцінки якості реалізації різних аспектів за п'ятибальною шкалою.

Дослідження реалізації в інших проектах необхідно для того, щоб зрозуміти тенденції та рівень якості реалізації конкурентноспроможної моделі.

1.4 Інструменти, які використовуються для роботи з 3D графікою

Для створення 3D моделей використовується спеціальні програми для роботи з 3D графікою. За принципом функціонування розрізняють CAD (*Computer Aided Design*) моделювання та полігональне моделювання. Прикладами CAD редакторів є «Autodesk AutoCad», «Compass 3D», «Fusion 360». Такі програми використовуються для створення точних моделей запчастин або інших об'єктів в інженерній сфері. Ці програми дуже рідко використовуються у пайплайнах створення *game-ready* моделей, але іноді можуть бути корисними.

Для полігонального моделювання використовують в основному такі програми:

					КРБ.КІ.1.442-03.1.7	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Autodesk 3DsMax – це одна із перших програм для створення полігональних моделей. Вона дає можливості як змінювати геометрію моделей вручну, так і за допомогою модифікаторів і текстур шумів. Також можливо робити текстури і матеріали, та підключати різноманітні двигуни для рендеру та від різних розробників.

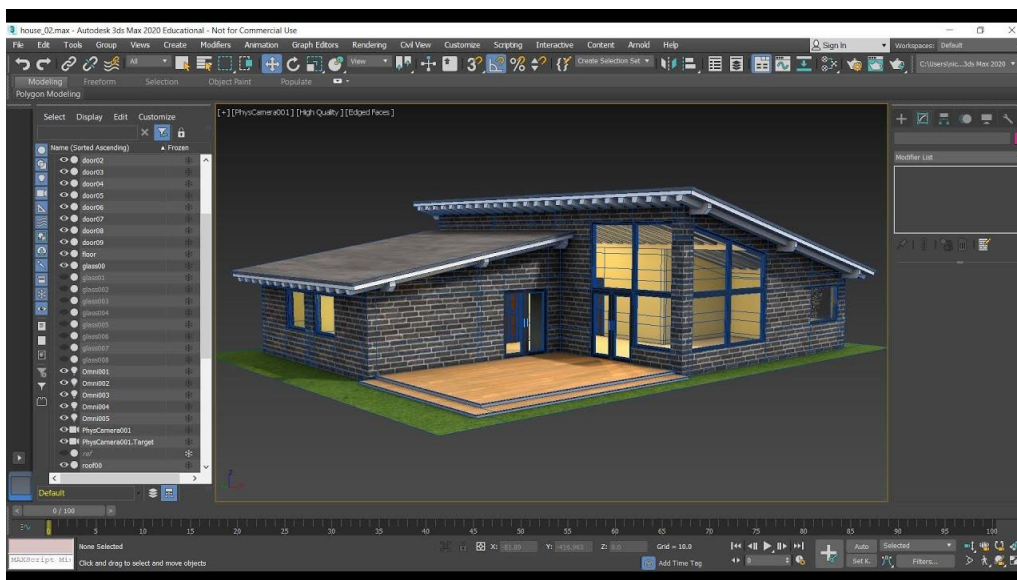


Рис. 1.15 – Інтерфейс *3DsMax*

Autodesk Maya – має більшу частину можливостей *3DsMax*, але відрізняється набагато більшими можливостями для роботи зі скелетною анімацією і набагато частіше використовується аніматорами.

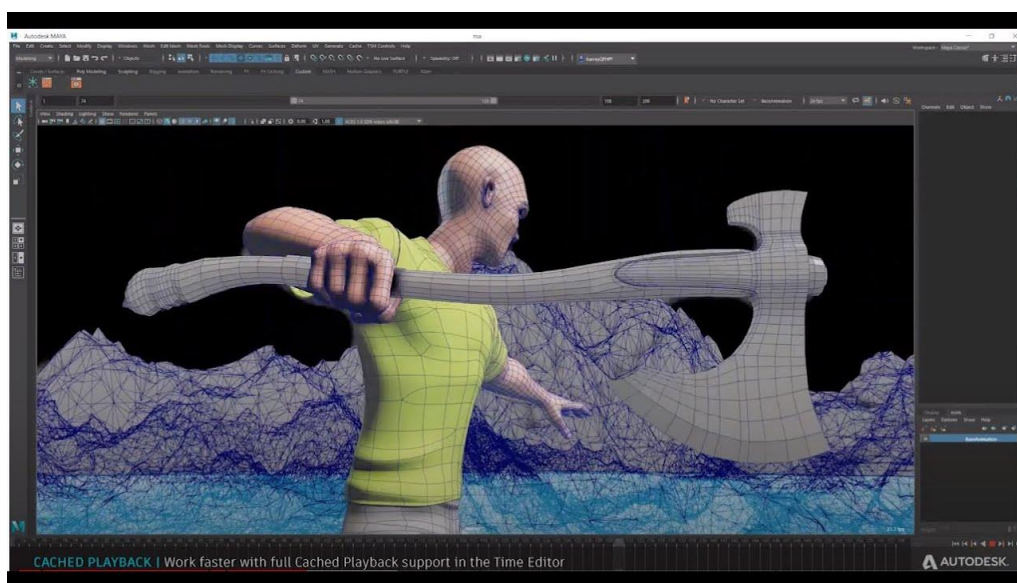


Рис. 1.16 – Інтерфейс *Autodesk Maya*

									Арк.
									23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

КРБ.КІ.1.442-03.1.7

Cinema4D – від розробників *Zbrush*, найчастіше використовується для створення 3D графіки для фільмів та роботі з *Adobe After Effects*, але менш популярна у сфері полігонального моделювання.



Рис. 1.17 – Інтерфейс *Cinema4D*

ZBrush – використовується в основному художниками за персонажами, а принцип моделювання більше схож на роботу з глиною, що дозволяє органічно працювати з формами та інтуїтивно створювати детальних персонажей. Такий засіб моделювання називають скульптингом.

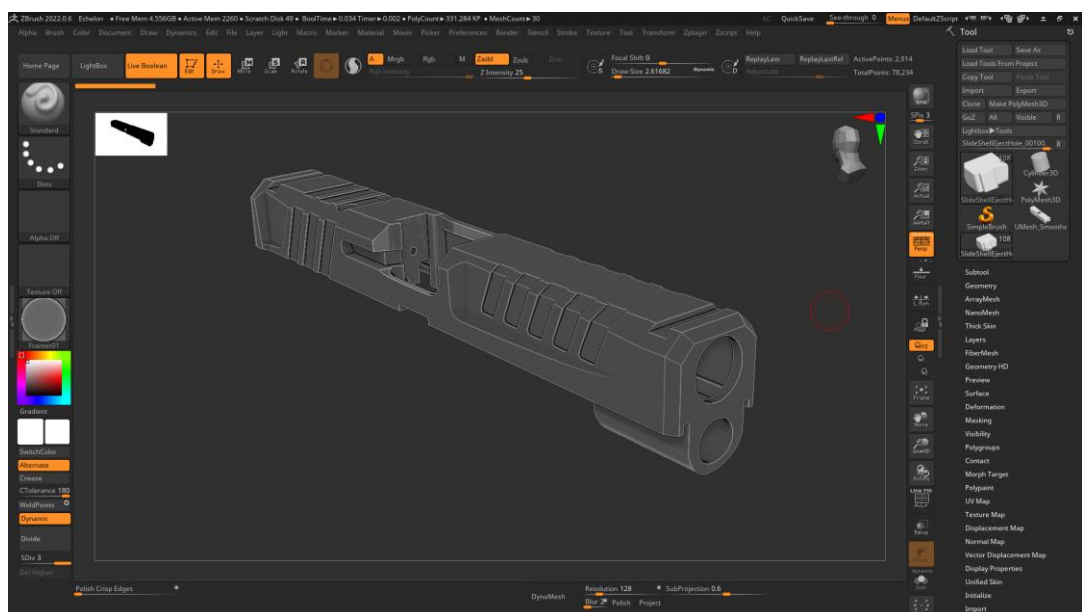


Рис. 1.18 – Інтерфейс *ZBrush*

Blender – безкоштовна програма з відкритим програмним кодом. Має практично всі можливості з *3DsMax* та *Maya*, також має інструменти для скульптингу. Унікальною особливістю є система геометричних нодів, за допомогою яких можна створювати процедурні об’єкти, анімації чи матеріали, наприклад автоматичну генерацію домівок, їх дахів да вікон.

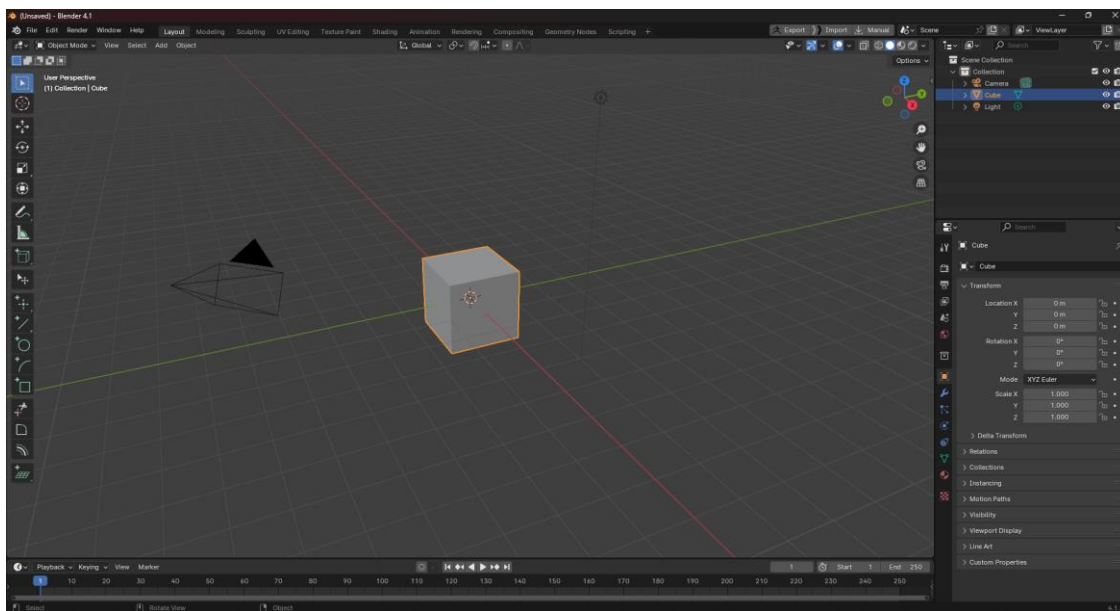


Рис. 1.19 – Інтерфейс *Blender*

1.5 Розробка технічного завдання

Завданням дипломної роботи є:

Розробка *game-ready* моделі та анімацій пістолету “*Springfield Echelon*”:

1. Загальні вимоги. Створення моделі пістолету, текстур та анімацій готових для імпорту до ігрового двигуна.
2. Вимоги до 3D-моделі. Деталізація сітки моделі не повинна перевищувати 10.000 вертексів, мати карти нормалей, металевості та шорсткості. Повинні бути анімації простою, пострілу та перезарядження. Фінальний результат має бути імпортовано до ігрового двигуна «*Unity3D*».
3. Вимоги до використаних технологій. Застосувати ПЗ для полігонального моделювання і анімації – *Blender*, *ZBrush*, ПЗ для

					КРБ.КІ.1.442-03.1.7	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

запікання текстур – *Marmoset Toolbag 4*, та ПЗ для текстуровання – *Adobe Substance 3D Painter 2022*.

4. Вимоги до результату. Результатом роботи повинен бути анімаційний ролик у форматі *mp4* та модель у форматі *FBX* з анімаціями та набором текстур.
5. Вимоги до послідовності роботи. Робота ведеться за заздалегідь продуманим пайплайном. Проміжні результати зберігати на додатковий носій.

Висновки до першого розділу

Було проаналізовано історію розвитку *3D* графіки та визначено програму та методи реалізації дипломного проекту.

Було проведено дослідження предметної області даного дипломного проекту, методів та програмного забезпечення, яке використовується для розробки *game-ready* моделей.

Розглянуто та порівняно реалізацію та деталізацію зброї в інших ігрових проектах.

Було розроблено технічне завдання та вимоги щодо відтворення *3D* моделі.

					КРБ.КІ.1.442-03.1.7	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2 ВИЗНАЧЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ПРОЕКТУВАННЯ

2.1 Розробка пайплайну створення 3D моделі

Розробка пайплайну:

Базовий найбільш розповсюджений процес розробки – створення високодеталізованої моделі за референсами, створення низькодеталізованої моделі на її основі, запікання деталізації у вигляді карт нормалей, текстуровання та анімування.

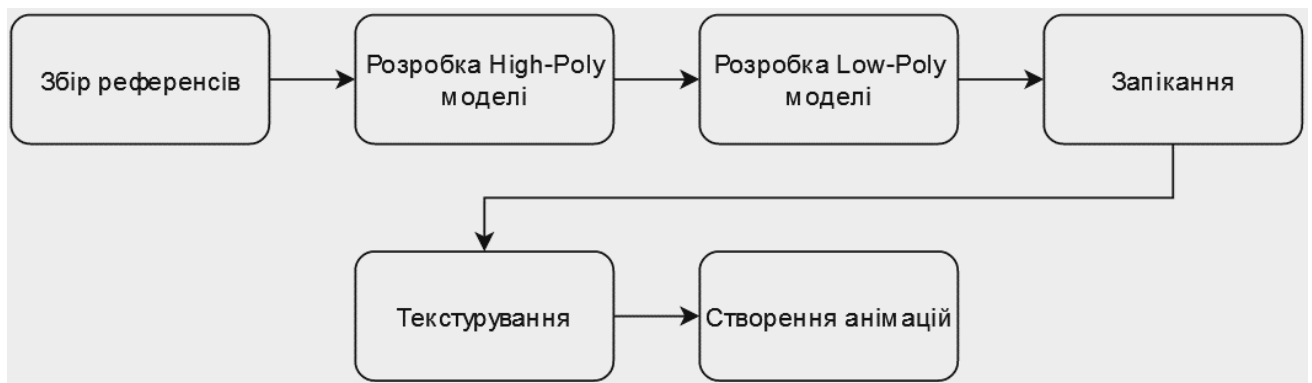


Рис. 2.1 – Пайплайн розробки *game-ready* 3D-моделі

Основним методом створення *game-ready* асетів є запікання карт нормалей з високодеталізованої моделі на її низькодеталізовану копію.

Для того, щоб модель була оптимізована та могла відображатися в ігрових рушіях в режимі реального часу, при цьому не втрачала в якості, буде використано карти нормалей, шерохватості та металевості.

Результатом роботи має бути *game-ready* модель в форматі *.fbx*, адаптована до імпорту в ігрові рушії або до анімації отримувачем, додаючи її до інших проектів.

					КРБ.КІ.1.442-03.1.7	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.2 Обґрунтування вибору програмного забезпечення

2.2.1 Blender

Для розробки 3D моделей існує дуже багато різних програм різного напрямку та з різними перевагами та недоліками.

В якості основної програми для моделювання я обрав *Blender* – безкоштовну програму з відкритим програмним кодом, яка поєднує в собі як інструменти для полігонального моделювання, так і інструменти для скульптингу, текстурування, анімації та монтажу.

Інтерфейс програми більш інтуїтивний за його конкурентів, а сама програма об'єднує в собі багато інструментів які виконані на достатньому для роботи рівні.

Низькодеталізована модель та форми, призначені для булевих операцій будуть розроблені саме в *Blender*, а також анімації та експорт відеоролика.

Також інструменти для полігонального моделювання сприяють швидкій роботі за рахунок принципу функціонування інтерфейсу та переміщення об'єктів та елементів.

Сильною стороною цієї програми також є відкритий програмний код. *Blender* розроблено на мові програмування *Python*, що дозволяє розробникам зі всього світу розробляти свої аддони до програми, які можуть додавати функції та інструменти, яких нема у конкурентів.

Для роботи далі буде встановлено аддон «GoB» - цей аддон дозволяє експортувати моделі з *Blender* до *ZBrush* та навпаки натисненням однієї кнопки, не витрачаючи час на обирання локацій експорту та імпорту.

Створення UV-розгортки також буде проведено в *Blender* – функціоналу, вбудованого до програми буде достатньо для виконання проекту.

Скелет для анімації буде створено за допомогою базового функціоналу *Blender*, а також буде зроблено драйвер залежності позиції стволу від позиції затвору. Це спростить створення анімацій взаємодії зі зброєю.

					КРБ.КІ.1.442-03.1.7	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.2.2 ZBrush

ZBrush – програма для скульптингу та створення в основному персонажів та органічних предметів. В програмі є дуже багато інструментів, які також є корисними в *hard-surface* моделюванні.

Високодеталізовану модель буде створено саме в *ZBrush*, тому що *ZBrush* набагато краще працює з великою кількістю полігонів та з булевими операціями, ніж *Blender*.

Основну форму деталей, а також форм, які будуть відніматися з неї будуть зроблені в *Blender* та експортовано до *ZBrush* для подальшого виконання булевих операцій.

Функціонал програми дозволяє зручно згладжувати фаски на моделях, та проводити спрощення моделі до працездатного рівня. Спрощення зроблено за розумним алгоритмом – там, де є велика кількість геометрії, яка сильно впливає на деталізацію, то спрощуватися вона буде мінімально, а великі рівні незмінні площини будуть дуже помітно спрощені.

Після цього моделі буде експортовано в *Blender*, а потім до *Marmoset Toolbag 4* для запікання деталізації на карту номалей.

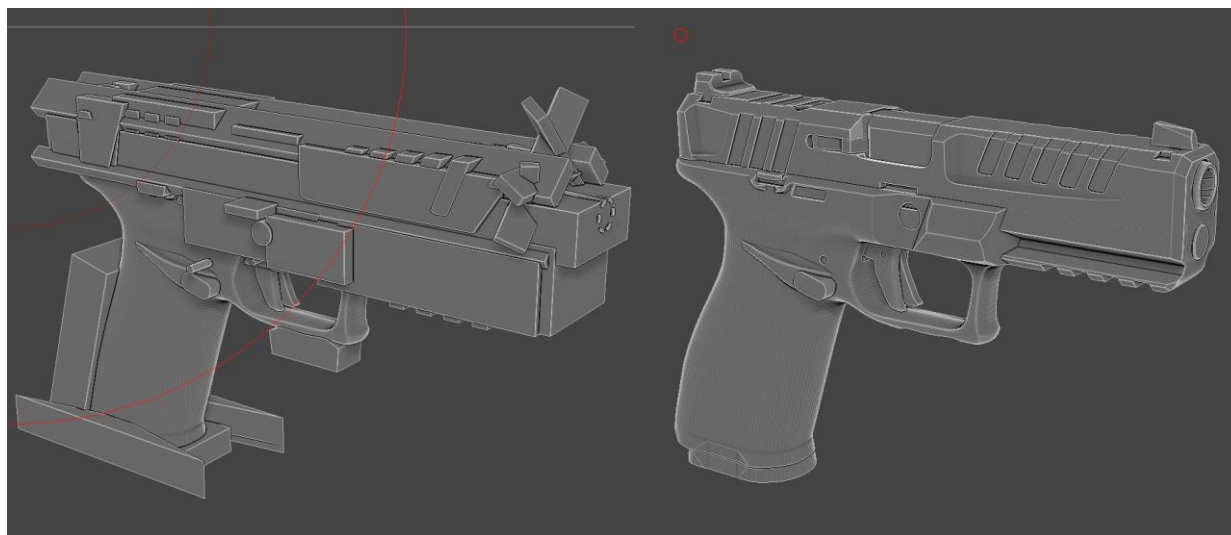


Рис. 2.9 – Примінення булевих операцій в *Zbrush*

					КРБ.КІ.1.442-03.1.7	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.2.3 Marmoset Toolbag 4

Marmoset Toolbag використовується для запікання високодеталізованої геометрії на карту нормалей, а також карти глобального затінення, згладженості та інші. Також *Marmoset* використовується для створення сцен та їх відрисовки.

Запікання карт – сильна сторона цієї програми. З цією задачею вона впорається набагато краще ніж конкуренти, в тому числі *Blender*.

Якщо високодеталізовані та низькодеталізовані моделі в файлах імпорту мають однакові назви, але приписки «*_high*» та «*_low*» співвідносно, то програма сама відсортує їх до належної групи в проекті запікання. Це дуже зручно та прискорює роботу.

Також мається велика кількість інструментів для виправлення артефактів запікання. Можна редагувати велику кількість параметрів відбивання світла, клітку границь моделі та відстань брошеного лучу для розрахунків.

Запічені карти з цієї програми далі будуть використані як основа в програмі для подальшого текстурювання в *Substance 3D Painter*.



Рис. 2.10 – Інтерфейс *Marmoset Toolbag*

					КРБ.КІ.1.442-03.1.7	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

2.2.4 Substance 3D Painter та Adobe Photoshop

Substance 3D Painter – програма для зручного текстурювання моделей та створення різноманітних ефектів та текстур, таких як бруд, потертість матеріалів за допомогою генераторів, карт випадкових шумів та покраски.

Додаткову дрібну деталізацію буде зроблено в цій програмі за допомогою карт висот, які дозволяють зробити ефект вдавненого дрібного тексту на деяких місцях моделі за допомогою *alpha*-карт.

Самі *alpha*-карти будуть створені в *Adobe Photoshop* – за допомогою деформації тексту та можливістю робити частини зображення прозорими можна отримати підписи та логотипи, які можуть зробити ефект об'єму на поверхні.

Текстури, експортовані з цієї програми матимуть карти об'єму, нормалей, шороховатості, кольору та металевості. Об'єднаний ефект з цих карт зробить об'ємну та деталізовану модель.

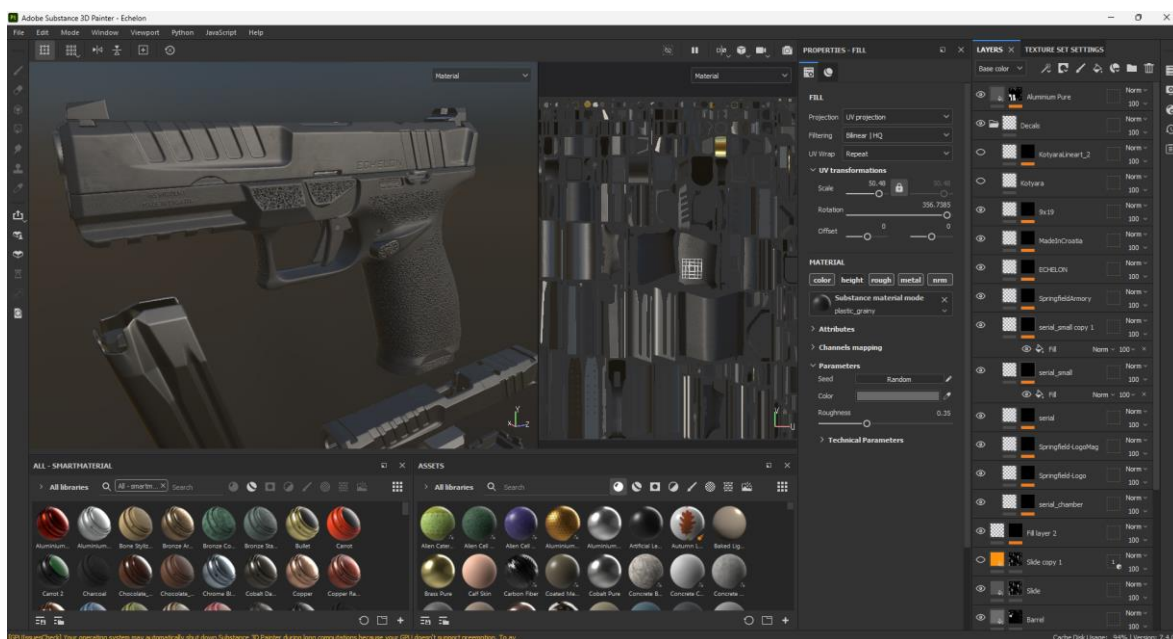


Рис. 2.11 – Інтерфейс *Substance 3D Painter*

2.3 Дослідження основних технологій

2.3.1 Збір референсів

Модель пістолету буде розроблятися на основі реального прототипу «*Springfield Echelon*».



Рис. 2.4 – Зображення пістолету «*Springfield Echelon*»

Цей пістолет виробляється хорватською компанією «*HS Produkt*» під американським брендом «*Springfield Armory*». Вийшов на ринок в середині 2023 року. За будовою досить схож на пістолети компанії «*Glock*» та є його прямим конкурентом за ціною та форм-фактором. Має пластикову рукоять та металеві затвор, ствол та функціональні компоненти. Зони хвату зроблені із рел'єфного пластику, що буде потрібно передати на моделі.

Була зібрана досить велика кількість фотографій пістолету з різних кутів та додана до програми *PureRef* для отримання більш чіткої картини з його форми.

					КРБ.КІ.1.442-03.1.7	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

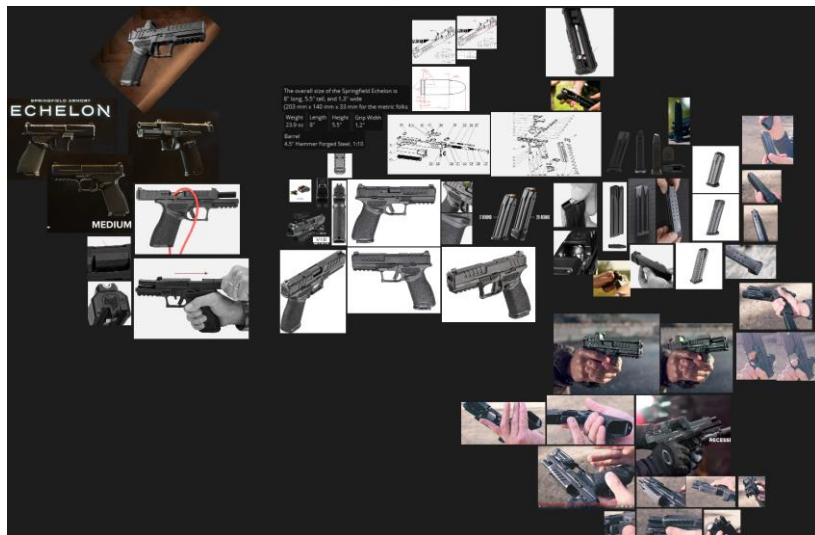


Рис. 2.5 – Референси до пістолету в *PureRef*

На офіційному сайті виробника є інструкція з експлуатації. В ній є схематичні зображення деяких компонентів пістолета. Ці зображення зроблені в ортографічному виді, що дозволяє побачити форму моделі без викривлень перспективи. Наприклад завдяки цьому можна помітити, що задня частина затвору трохи ширша за основну форму. Якщо провести пряму лінію можна помітити наскільки ширше потрібно буде зробити модель.

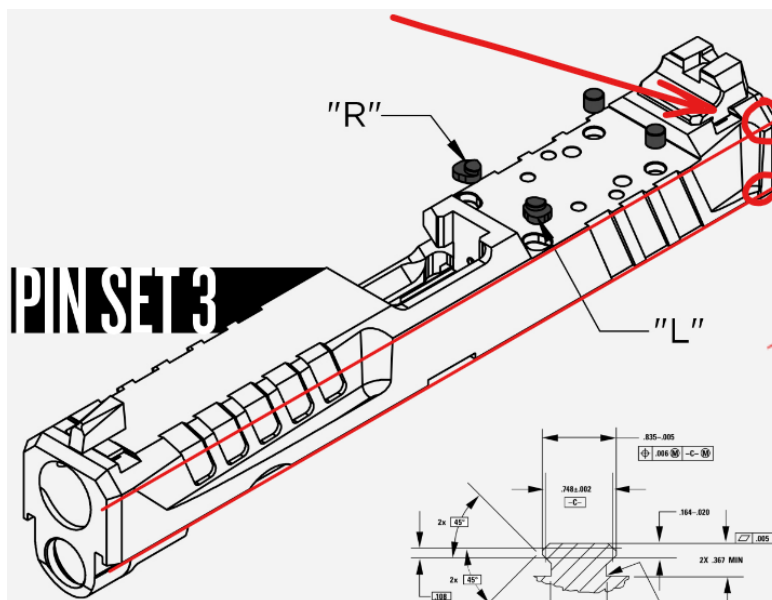


Рис. 2.6 – Особливості форми затвору

Також не менш важливо зрозуміти конструктивні особливості та принцип функціонування пістолета для найбільш точного відтворення. Так, патрон з

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

магазину чіпляється затвором та заштовхується до патронника. Задня частина патрону трохи ширша за кулю, завдяки чому патрон щільно сидить в патроннику та не дозволить втечі порохових газів.

Патрон в патроннику прижимається затвором, де знаходиться бойок. При натисканні на курок, бойок відпускається та вдаряє по капсулю патрона. Це призводить до самозаймання пороху в гільзі. Порохові гази виштовхують кулю з гільзи до стволу. Завдяки спеціальному нарізу в стволі куля закручується при виштовхуванні, що покращує стабільність кулі в польоті.

Частина порохових газів відводиться назад до затвору. Це штовхає затвор назад. Рухаючись назад, затвор чіпляє пусту гільзу, та вибрасує її з патронника та заряджає наступний патрон. Завдяки цьому формується цикл, при якому постріл призводить до заряджання наступного патрону.

В стволу цього пістолета є конструктивна особливість – при русі затвору назад, ствол також частинно відводиться назад та припіднімається. Це зроблено для того, щоб заряджання наступного патрону було більш надійним – воно зменшує кут, під яким патрон має потрапити до патронника. Цей рух буде передано за допомогою драйверів залежності позиції від іншого об'єкту, а отвір під ствол має бути не ідеально круглим, а трохи овальним для того, щоб геометрія ствола не проходила крізь затвор.



Рис. 2.7 – Особливості руху ствола при відведенні затвору назад

									Арк.
									34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

2.3.2 Технології створення високодеталізованої моделі

Створення *High-Poly* моделей для запікання (*baking*) включає декілька ключових технік і етапів, котрі допомагають досягнути високого рівня деталізації та якості. Основні техніки включають:

Скульптинг (Sculpting)

Скульптинг дозволяє створювати дуже деталізовані моделі шляхом моделювання поверхонь, як якщо б це була глина. Програми, такі як *ZBrush* та *Mudbox*, надають потужні інструменти для скульптингу. Скульптинг застосовується для створення реалістичних моделей персонажів, людей та одягу. Процес скульптингу інтуїтивний та зрозумілий, тому велика кількість художників по персонажам користуються саме таким методом моделювання. Він дозволяє працювати з моделями так, як це робив би скульптор. Однак, такі моделі без подальшої обробки підходять максимум для 3D друку. Сітка та топологія такої моделі безладна та неоптимізована. Для подальшого застосування таких моделей в анімації необхідно проводити ретопологію та створювати рівномірну сітку, яка буде оптимізована для анімації та використання в ігрових рушіях.

Такий метод моделювання в нашому випадку не підходить, однак деякі інструменти все-таки будуть використані для рівномірного одночасного згладжування фасок на моделі.

Скульптинг не підходить для *hard-surface*-моделювання або ж твердотільного моделювання. Наш випадок вимагає точності та проробленості деталей, створених штучним шляхом, і кути деталізації гострі та погано проробляються інструментами для скульптингу.

					КРБ.КІ.1.442-03.1.7	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рис. 2.8 – Процес скульптингу обличчя людини в ZBrush

Субдивізійне моделювання (Subdivision Modeling)

Цей метод включає використання підрозділу (*subdivisions*) для додавання деталей до моделі. Програми, такі як *Blender*, *Maya*, *3ds Max* та *Cinema 4D*, надають інструменти для створення *HighPoly* моделей шляхом збільшення числа полігонів через підрозділ поверхонь.

Цей метод дозволяє перетворити базову *LowPoly* модель в *HighPoly*, зберігаючи загальну форму, але додаючи більш плавні лінії та деталі.

Основні етапи субдивізійного моделювання:

1. Базова модель

Субдивізійне моделювання починається з створення базової *LowPoly* моделі. Ця модель повинна мати просту геометрію, яка визначає основну форму об'єкта. Необхідно переконатися, що базова модель має якісну топологію, щоб уникнути проблем при підрозділі. Сітка в ідеалі повинна складатися повністю з чотирикутників, а також повинна бути рівномірно розподілена та замикатися в кільця – наприклад, лінія полігонів на циліндрі повинна його повністю охоплювати, і не йти в нелогічні місця.

2. Підтримуючі петлі (*Support Loops*)

Підтримуючі петлі — це додаткові лінії, додані до базової сітки для контролю рівня згладжування в певних областях, частіше за все на краях моделі.

										Арк.
										36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

У *Blender* вони створюються за допомогою інструменту «*Loop Cut and Slide*», *Insert Edge Loop* у *Maya* або *Swift Loop* у *3dsMax*.

Підтримуюча геометрія допомагає зберегти гострі кути та краї після підрозділу, а також регулювати ступінь згладжування кута. Додавати підтримуючі петлі варто лише в тих місцях, де це необхідно, щоб уникнути надмірної щільності сітки.

3. Підрозділ (*Subdivision*)

Процес підрозділу включає додавання додаткових вершин і полігонів до базової сітки за допомогою модифікатора *Subdivision Surface* у *Blender*, інструменту *Smooth* у *Maya* або *TurboSmooth* у *3dsMax*. Даний модифікатор автоматично подвоює кількість поточних полігонів і усереднює кути між ними. Таким чином, друга ітерація такого модифікатора збільшить деталізацію початкової моделі в чотири рази. Це робить поверхню моделі більш плавною і деталізованою.

Даний метод підійде для створення моделей з простих форм, наприклад, модель кулі буде зручно реалізувати саме таким чином, однак модель самого пістолета і його елементів буде досить проблематично реалізувати через велику кількість складно розташованих дрібних деталей, через що рівномірну сітку буде зробити дуже складно.

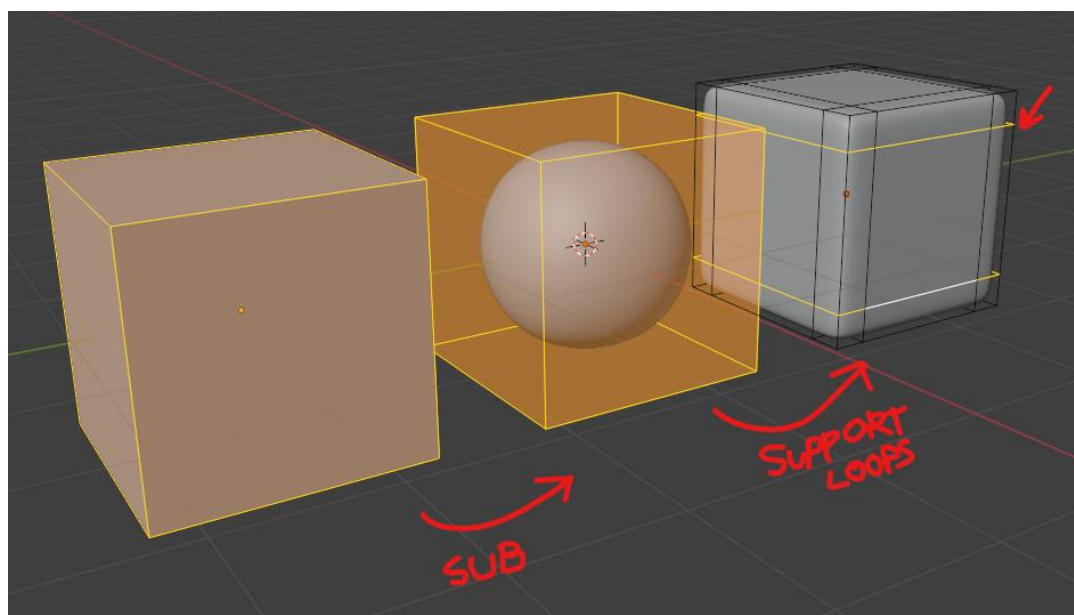


Рис. 2.9 – Зміна виду куба при *Subdivision* та доданні підтримуючої геометрії

					КРБ.КІ.1.442-03.1.7	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Використання модифікаторів (*Modifiers*)

Модифікатори, такі як *Bevel*, *Displace*, та інші, можуть додавати деталі до базової моделі. Наприклад, модифікатор *Bevel* додає фаски до країв моделі, що робить її більш реалістичною.

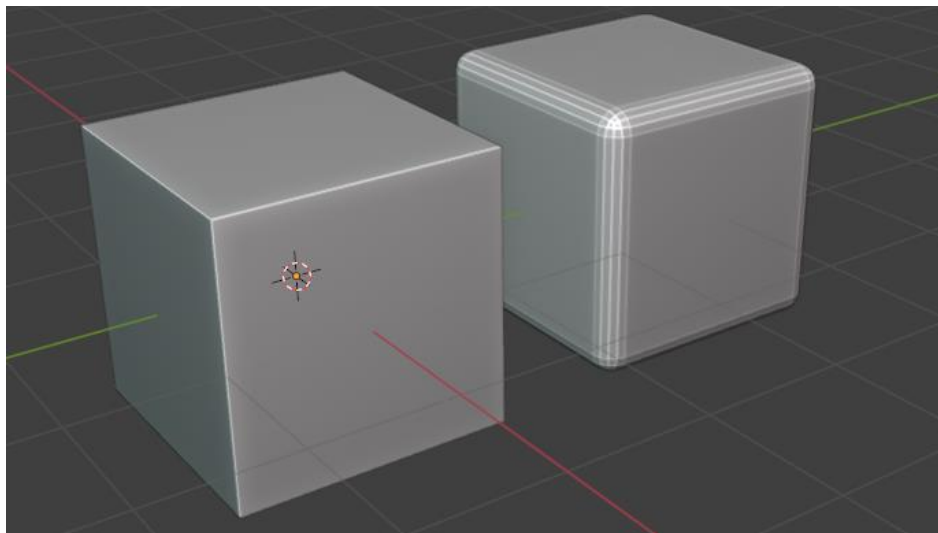


Рис. 2.10 – Зміна виду куба при доданні модифікатора «*Bevel*»

Фотограметрія

Фотограметрія використовує фотографії реальних об'єктів для створення високодеталізованих 3D моделей. Це може бути корисно для створення дуже реалістичних *HighPoly* моделей оточення. Особливо такі моделі добре підходять для кінематографа, однак вкрай погано піддаються редагуванню через безладну сітку. Для використання у відеоіграх такий тип моделювання не підходить. Виключенням є тільки *Unreal Engine 5*, в якому існує технологія *Nanite*, яка динамічно спрощує або ускладнює моделі в залежності від відстані, на якій знаходиться гравець. Однак, дана технологія застосовна тільки для статичних об'єктів. Для створення транспорту, персонажів або зброї, яке повинно переміщуватися або змінювати форму, *Nanite* не підійде.

Проблеми при створенні моделей за допомогою фотограметрії:

Для створення моделей за допомогою фотограметрії необхідно мати доступ до створюваного об'єкту в реальному світі. Дана можливість присутня далеко не завжди.

					КРБ.КІ.1.442-03.1.7	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Створюється така модель за допомогою зйомки від 50 до кількох сотень або навіть тисяч фотографій. Також можуть застосовуватися дороговартісні сканери або студії з камерами під численними рівновіддаленими кутами.

При цьому необхідно, щоб освітлення було стабільним і не змінювалося, так як це може вплинути на створення моделі. Також поверхня знімаємого об'єкта повинна бути матовою і не відбивати освітлення, інакше це може призводити до артефактів, так як програма буде визначати блиски і відображення як порожній простір.

Також далеко не завжди присутня можливість зняти об'єкт з усіх ракурсів, іноді до деяких частин об'єкта може не бути доступу або зручного кута для зйомки.

Після отримання моделі зі спеціальної програми для фотограмметрії, куди завантажуються фотографії, її необхідно обробляти та очищати від артефактів і зайвої геометрії, яка може з'явитися після обробки.

Таким чином, даний спосіб також не підходить для створення *game-ready* моделі зброї, однак застосовний у якості створення референсів. Гарною допомогою при створенні точної моделі якогось об'єкта може бути відсканований об'єкт за допомогою фотограмметрії.

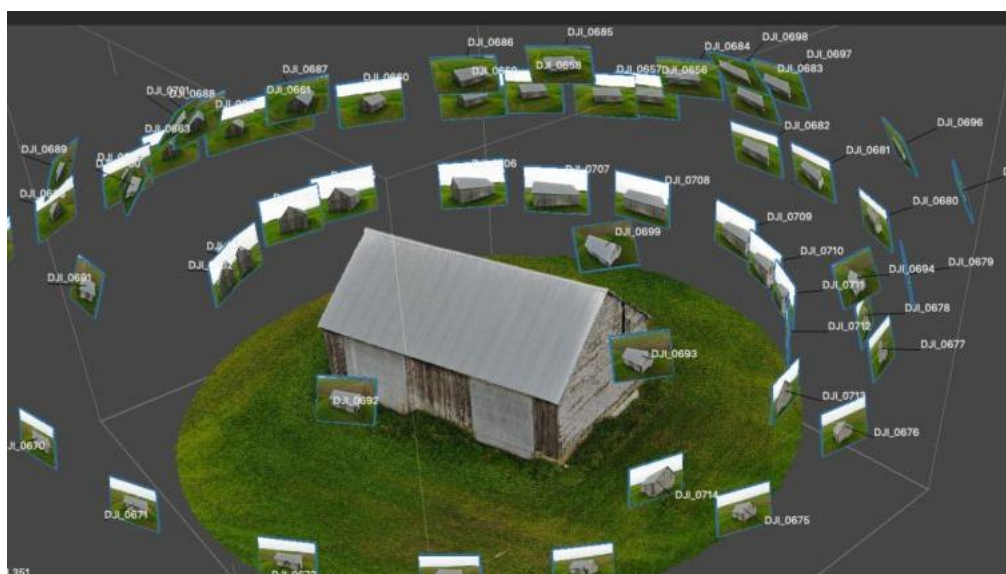


Рис. 2.11 – Вигляд моделі дому в програмі для фотограмметрії *RealityCapture*

Використання булевих операцій (*boolean operations*)

Булеві операції дозволяють об'єднувати, вирізати та перетинати прості геометричні форми для створення складних моделей. Цей метод особливо корисний для створення механічних об'єктів та моделей з жорсткими краями.

Основні булеві операції:

Union (Об'єднання): об'єднує два об'єкти в один, видаляючи пересічні внутрішні частини.

Difference (Різниця): вирізає один об'єкт з іншого.

Intersection (Перетин): залишає тільки пересічні частини двох об'єктів.

Принцип створення *HighPoly* моделі з використанням булевих операцій

Починають зі створення простих базових форм, приблизно нагадуючих цільову модель. Далі створюються форми для віднімання - форми вирізів, заглиблень, виступів та інших деталей, необхідних для додавання на модель. Потім застосовуються булеві операції, і форми для зміни віднімаються або додаються до базової форми, створюючи більш комплексну та деталізовану модель.

Збільшення деталізації

Після застосування булевих операцій можна використовувати інструменти скульптингу та поділу для додавання дрібних деталей та згладжування форми. Однак для роботи підроздільного збільшення деталізації необхідна оптимізована топологія, а очищення такої моделі від непотрібних вершин може зайняти багато часу.

Тому для збільшення деталізації буде проведено воксельний *Remesh*, який створить рівномірну, але дуже щільну сітку моделі з чотирикутників або трикутників, з якою потім можна працювати інструментами для скульптингу, щоб внести зміни та згладити фаски об'єкта.

Високодеталізовану модель буде розроблено за допомогою декількох програм. Основна форма буде зроблена в *Blender*, звідти перенесено до *ZBrush*, а звідти до *Marmoset Toolbag*.

					КРБ.КІ.1.442-03.1.7	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Це зроблено тому що *ZBrush* набагато краще впорюється з високодеталізованою геометрією, а також гарно її спрощує. Моделі з формами для відсікання буде імпортовано до *ZBrush*, де будуть проведені булеві операції. Далі буде проведено воксельний *remesh* моделі. Це дозволить гарно згладити ребра моделі а також дуже швидко та якісно.

Інші методи можуть використовувати різні програми та інструменти для розробки. Наприклад можна розробити модель у *CAD* програмі, експортувати у полігональному виді та на її основі розробити полігональну модель, зробити воксельний *Remesh* у *Blender* чи *ZBrush*, та обробити грані моделі для отримання більш гладких фасок на об'єкті.

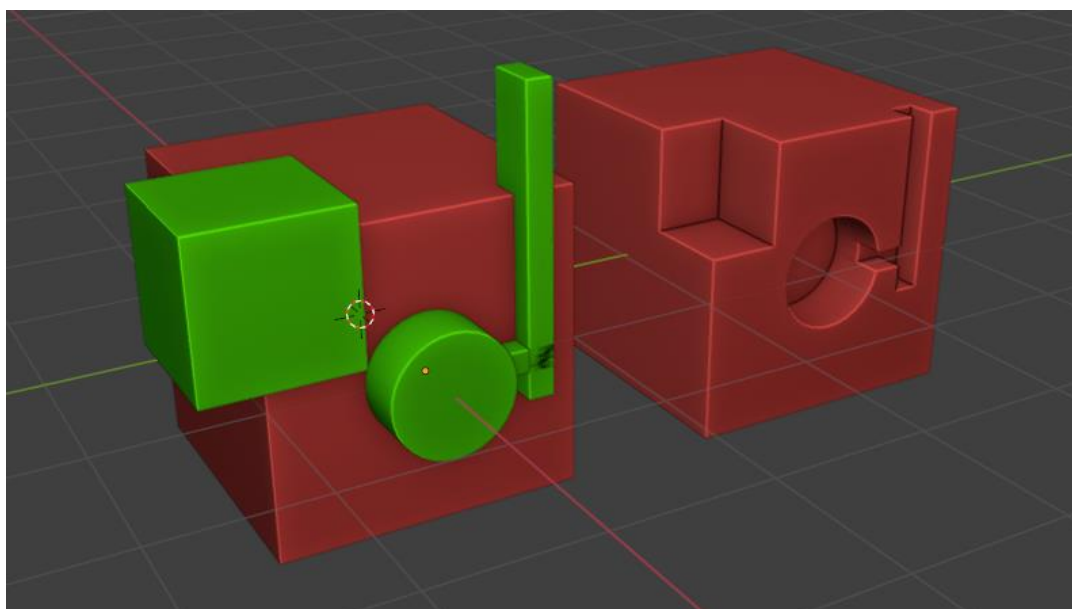


Рис. 2.12 – Зміна виду куба після примінення команди *Difference* на зелених об'єктах

2.3.3 Технології створення низькодеталізованої моделі

Процес створення низькополігональних моделей є важливою частиною розробки ігрових моделей, забезпечуючи баланс між якістю візуалізації та продуктивністю. Використання правильних методів і інструментів дозволяє ефективно створювати оптимізовані моделі, готові для інтеграції в ігрові двигуни та використання в реальному часі.

					КРБ.КІ.1.442-03.1.7	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Методи Створення Низькополігональних Моделей

Ретопологія — це процес створення нової сітки (*mesh*) поверх існуючої моделі високої деталізації (*high-poly*) з метою зменшення кількості полігонів.

Ручна ретопологія — художник вручну створює нову топологію, уважно стежачи за контуром *high-poly* моделі. Інструменти, такі як *ZBrush*, *3D-Coat* або *Blender*, пропонують спеціалізовані ретопологічні інструменти, що спрощують цей процес.

Автоматична ретопологія — програми, такі як *ZBrush* і *Autodesk Maya*, мають автоматичні інструменти ретопології, які автоматично створюють *low-poly* модель. Однак якість автоматичної ретопології може варіюватися і часто вимагає додаткової ручної доробки.

Декапітування — це процес зменшення кількості полігонів на моделі без значної втрати деталізації. Програми, такі як *ZBrush*, дозволяють автоматично зменшити кількість полігонів, зберігаючи при цьому основні контури та форми моделі.

Моделювання з нуля

Базове моделювання — використання простих примітивів (кубів, сфер, циліндрів) та інструментів моделювання для створення основних форм. Програми, такі як *Blender*, *3dsMax* і *Maya*, надають всі необхідні інструменти для цього процесу. Після створення основної форми додаються необхідні деталі, але в обмеженій кількості для збереження низької полігональності.

Чистка моделі після булевих операцій

У деяких випадках застосування моделі після булевих операцій є доцільним. Іноді передати деталізацію вручну досить проблематично, тому можна застосувати булеві операції та очистити сітку після застосування всіх модифікаторів, що іноді виявляється швидшим, ніж створення моделі з нуля. Саме такий підхід допоможе в нашому випадку — оскільки модель з булевими операціями вже буде готова, можна заощадити час на створенні основних форм.

Після створення *low-poly* моделі необхідно створити *UV*-розгортку, щоб мати можливість накладати текстури.

					КРБ.КІ.1.442-03.1.7	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

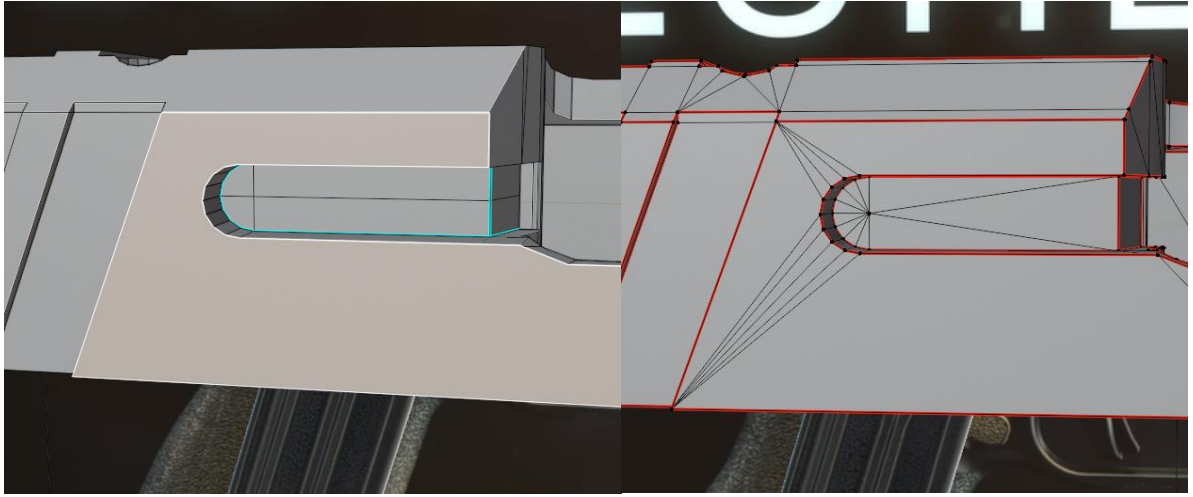


Рис. 2.13 – Приклад виправлення моделі після булевих операцій.

Інструменти для UV-розгортки:

Blender: Включає потужні інструменти для створення та редагування UV-розгорток.

RizomUV: Спеціалізований інструмент для створення UV-розгорток, відомий своєю точністю та зручністю використання.

Maya: Включає інструменти для автоматичної та ручної UV-розгортки.

Для нашого випадку базовий функціонал *Blender* вповні підійде.

2.3.4 Технології запікання деталізації на карту нормалей

Запікання — це важливий етап у процесі створення 3D-моделей для ігор та інших додатків, де потрібен баланс між якістю візуалізації та продуктивністю. Цей метод дозволяє зберігати деталі та текстури *high-poly* моделі, при цьому значно зменшуючи кількість полігонів і покращуючи продуктивність.

Плюси запікання деталізації

Оптимізація: Дозволяє використовувати моделі з меншою кількістю полігонів, що покращує продуктивність у реальному часі.

Реалістичність: Зберігає високий рівень деталізації, роблячи моделі більш реалістичними.

									Арк.
									43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

Універсальність: Запечені карти можуть використовуватися в різних рушіях та додатках, що робить їх універсальним інструментом для текстуровання та шейдування.

Існує кілька типів карт, які можуть бути запечені:

Карта нормалей (*Normal Map*): Переносить деталі рельєфу з *high-poly* моделі на *low-poly* модель, створюючи ілюзію високої деталізації.

Карта затінення оточення (*Ambient Occlusion Map*): Показує, як світло затіняє модель в трудноосвічених місцях, додаючи реалістичності.

Карта висоти (*Height Map*): Використовується для створення додаткового рельєфу.

Текстурні карти (*Diffuse Map, Specular Map*): Переносять колірні та матеріальні властивості.

Для отримання карти нормалей буде перенесено (*запечено*) деталізацію з високодеталізованої моделі на низькодеталізовану. Таким чином, рушій буде посилатися не на реальні нормалі, а на пікселі на текстурній карті, що набагато краще для швидкодії.

Модель буде імпортовано до *Marmoset Toolbag*, де буде проведено запікання деталізації на низькодеталізовану. Отриману карту нормалей буде імпортовано до *Substance 3D Painter*, де буде зроблено текстури.



Рис. 2.14 – Вигляд низькодеталізованої моделі до та після запікання.

					КРБ.КІ.1.442-03.1.7	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.3.5 Технології текстурвання

На цьому етапі створюються і накладаються текстури на *low-poly* модель. Використовуються карти, запечені на попередньому етапі, а також додаткові карти для створення матеріалів, таких як метал, пластик, шкіра і т.д.

Процедурне текстурвання

Використання процедурних текстур і шейдерів для додавання малих деталей, таких як шорсткість, подряпини та інші елементи. Ці техніки дозволяють швидко додавати деталі без необхідності в ручному моделюванні.

Процедурне текстурвання використовує математичні алгоритми для створення текстур, а не готові зображення. Це дозволяє генерувати текстури, які легко змінюються і масштабуються без втрати якості. В *Substance 3D Painter* є дуже зручні інструменти для роботи з процедурними текстурами.

Рель'єфна поверхня на рукояті буде зроблена в *Substance 3D Painter* за допомогою карти висот або карти нормалей, згенерованої за допомогою клітинного шуму, тому її не потрібно робити фізично на самій моделі.

Забруднення та шороховатості буде також зроблено за допомогою текстур в *Substance 3D Painter*.

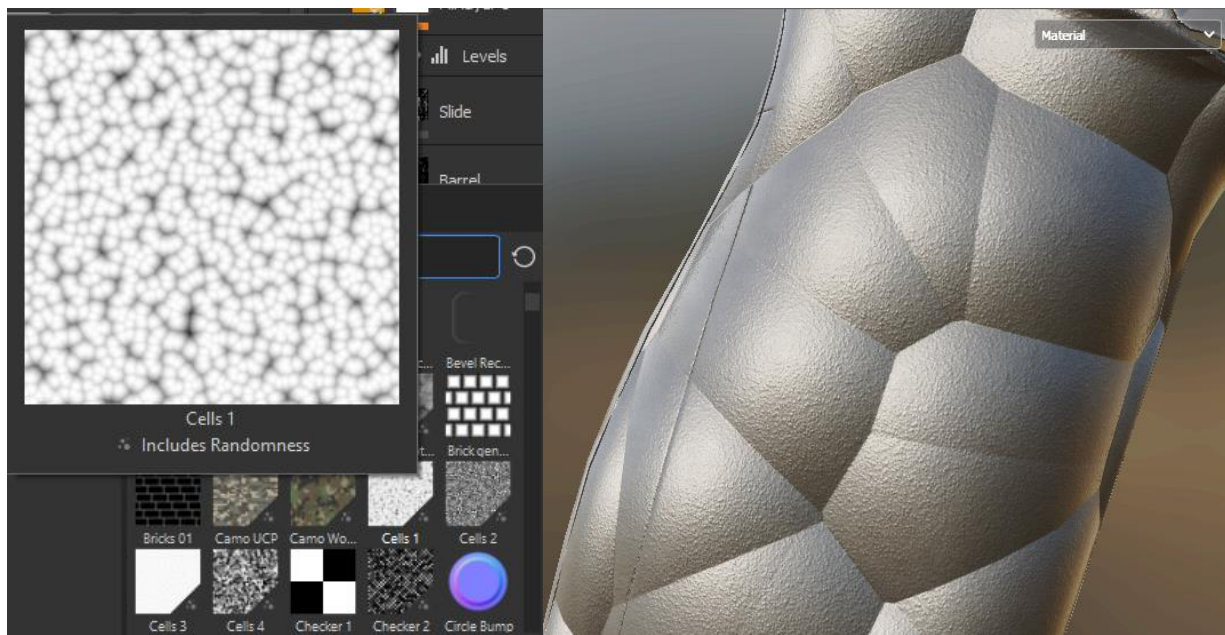


Рис. 2.15 – Приклад використання процедурної текстури в *Substance 3D Painter*

Ручне текстурування

Ручне текстурування включає створення текстур з нуля з використанням графічних редакторів, таких як *Adobe Photoshop* або *Corel Painter*.

Перевагами є: високий рівень контролю і деталізації, а також можливість створити унікальні і стилізовані текстури. Однак такий спосіб більш складний і вимагає більше часу.

Фотографічне Текстурування

Використання фотографій реальних об'єктів для створення текстур, наприклад, використання фотографій цегляної кладки, металів, тканин та інших матеріалів для створення текстур. Фотографії можуть бути відредатовані і адаптовані для використання на 3D-моделях. Це досить швидкий спосіб створення текстур для реалістичних проєктів, проте для отримання якісних текстур потрібна обробка і адаптація таких текстур.

2.3.6 Технології створення анімації

Морфінг (*Shape Keys / Blend Shapes*)

Морфінг дозволяє змінювати форму моделі шляхом інтерполяції між різними заздалегідь заданими формами (*shape keys* або *blend shapes*). Це часто використовується для анімації міміки обличчя. Для анімації зброї або предметів такий метод не підходить, хоча реалізація анімацій предметів через морфінг можлива, вона буде крайньою непрактичною.

Скелетна анімація (*Skeletal Animation*)

Скелетна анімація включає створення "скелета" з кісток, які прив'язуються до моделі (скіннінг). Рух кісток призводить до деформації моделі, що дозволяє створювати реалістичні анімації персонажів. Цей метод більш підходить для анімації предметів, оскільки дозволяє прив'язати рух однієї кістки до іншої, наприклад, для створення захоплення зброї або утримання затвору чи магазину в руці.

У свою чергу існує кілька методів скелетної анімації:

					КРБ.КІ.1.442-03.1.7	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Ключові кадри (*Keyframe Animation*)

Ключові кадри — це основна техніка анімації, де певні положення об'єктів задаються в ключових моментах часу, а проміжні положення автоматично розраховуються програмою.

Blender має багато інструментів для анімації, які можуть знадобитися при роботі. Для цього використовується принцип ключових кадрів, який також використовується у багатьох інших програмах для анімації і є стандартом в індустрії. Для простих рухів, де не потрібно бачити всього персонажа, буде достатньо ручної анімації.



Рис. 2.16 – Ключова анімація в *Blender*

Інверсна кінематика (*Inverse Kinematics*)

Інверсна кінематика використовується для анімації ланцюгів кісток, таких як кінцівки персонажів. На відміну від прямої кінематики (*FK*), *IK* дозволяє керувати положенням кінцівки, а програма автоматично обчислює кути суглобів. Це значно спрощує анімацію рук і колін.

Захват руху (*Motion Capture*)

Технологія захоплення руху використовується для запису реальних рухів і їхнього перенесення на 3D модель. Це дозволяє створювати реалістичні анімації з мінімальними зусиллями, але обладнання для захоплення руху часто є дуже

дорогим і вимагає великої площі. Воно також не дуже підходить для анімації дрібних рухів, наприклад, взаємодії зі зброєю

Висновки до другого розділу

Було розроблено пайплайн створення 3D моделі, а також розглянуто інструменти з програм, які будуть корисними при виконанні роботи.

Було розглянуто процес збору референсів, а також конструктивні та технологічні особливості функціонування прототипу пістолета «*Springfield Echelon*» для більш детального та коректного відтворення в цифровому вигляді.

У цьому розділі вивчено методи створення *game-ready* моделей, програми та технології, які використовуються для відображення моделей в ігрових рушіях в режимі реального часу.

					КРБ.КІ.1.442-03.1.7	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3 РЕАЛІЗАЦІЯ ПРОЕКТУ

3.1 Підготовка програмного забезпечення та сцени

Перед початком роботи необхідно встановити аддон «GoB» для *Blender*. Для цього завантажуюмо його з *GitHub* розробника аддона. Далі в *Blender* у вкладці *Edit* знаходимо вкладку *Preferences*.

У відкритшомуся вікні обираємо вкладку *Add-ons*. Натискаємо *Install...* У проводнику обираємо місцезнаходження завантаженого аддону та вмикаємо його.

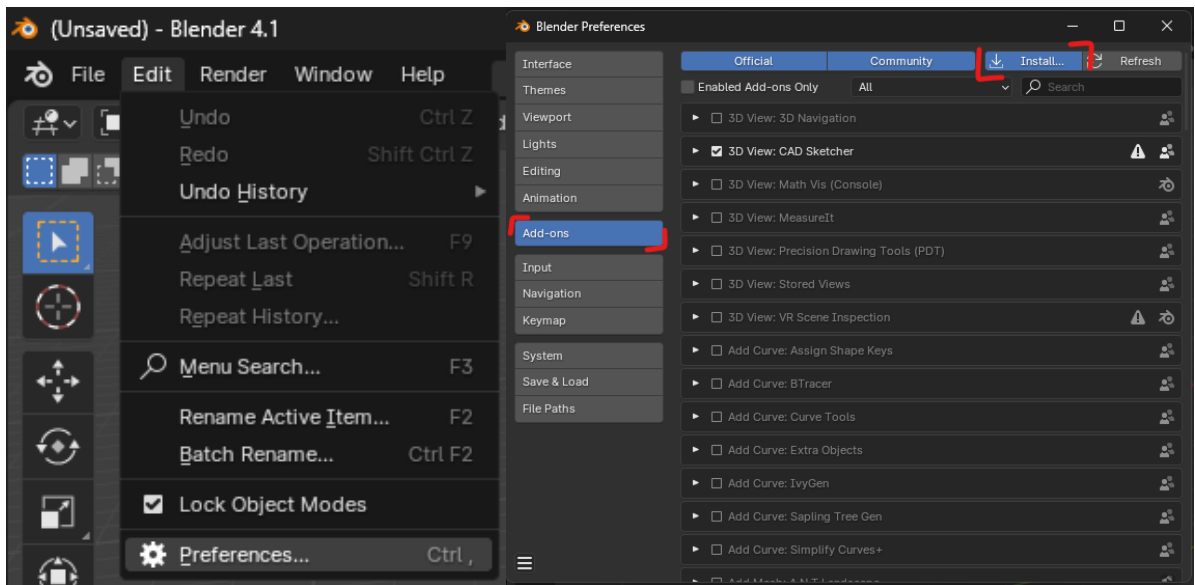


Рис. 3.1 – Встановка аддону «GoB»

Після цього в інтерфейсі з'явиться додаткова кнопка для експорту до *ZBrush*.

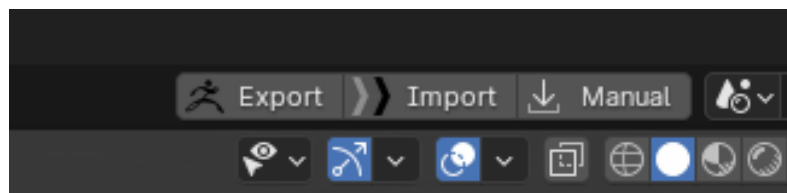


Рис. 3.2 – Додаткові кнопки після встановки аддону

										Арк.
										49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

Для спрощення процесу моделювання було знайдено 3D-скан моделі пістолету, з яким я буду працювати. За допомогою цієї моделі буде набагато легше розуміти форму об'єкта.

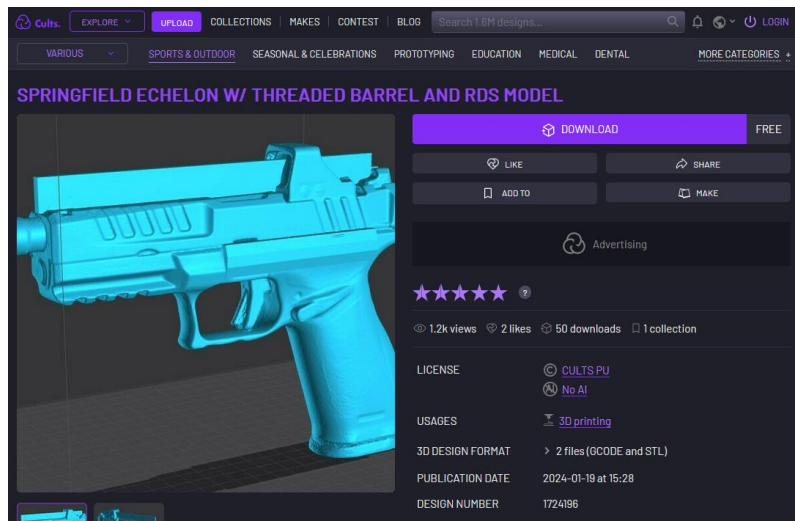


Рис. 3.3 – Сторінка 3D-скану пістолета

Модель постачається у форматі *STL*. *Blender* може працювати з цим форматом, тому імпортуємо модель. Для того щоб підігнати модель до правильного розміру, використовую куб з параметрами розміру пістолета, які були винайдені на етапі збору референсів

Кількість геометрії на моделі занадто велика, тому накладаю модифікатор *Decimate* та знижую кількість вершин до 60 тисяч. Приміняю модифікатор кнопкою apply або шорткатом «*ctrl + a*».

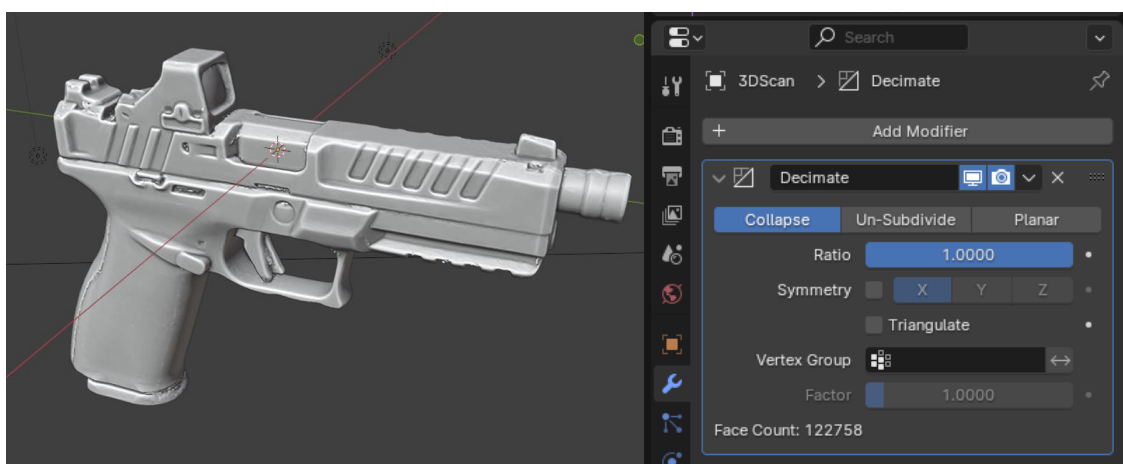


Рис. 3.4 – Додання модифікатора *Decimate* до моделі

					КРБ.КІ.1.442-03.1.7	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

В Blender можна швидко додавати зображення до сцени – для цього при створенні нового об'єкту обираємо *Image – Reference*.

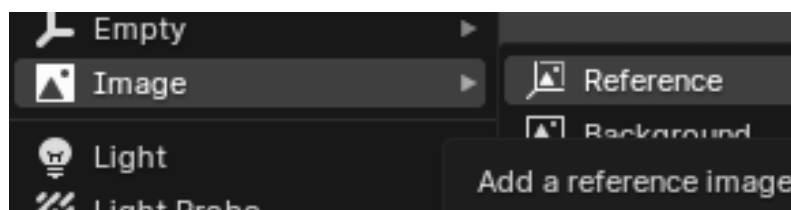


Рис. 3.5 – Додання референсного зображення до сцени

Для сцени також необхідно виставити розмірність. Для цього у розділі *Scene* обираємо метричну систему обчислення та *unit scale* на 1.

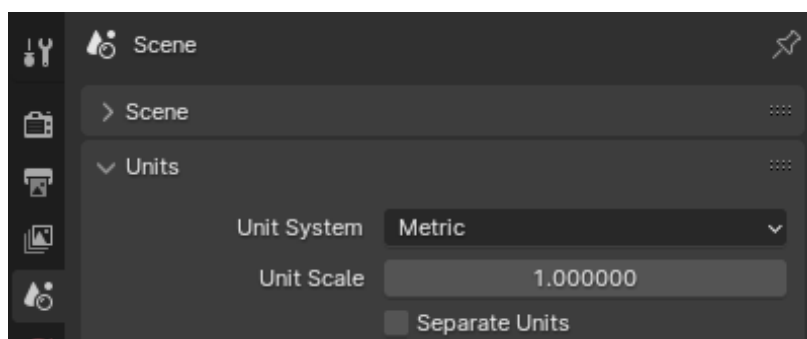


Рис. 3.6 – Зміна системи обчислення

3.2 Розробка високодеталізованої моделі

Коли сцена та орієнтири готові, можна починати розробляти модель. Розробку почнемо з моделі патрону – від його габаритів можна буде визначати розміри інших об'єктів.

Створюю циліндр, та в параметрах розмірів виставляю реальне значення діаметру гільзи за стандартом реального патрону. Діаметр дорівнює 9.93 мм, але при створенні циліндру можна обрати тільки радіус. У цьому випадку можемо вписати вираз « $9.93\text{mm} / 2$ » і програма сама обчислить значення.

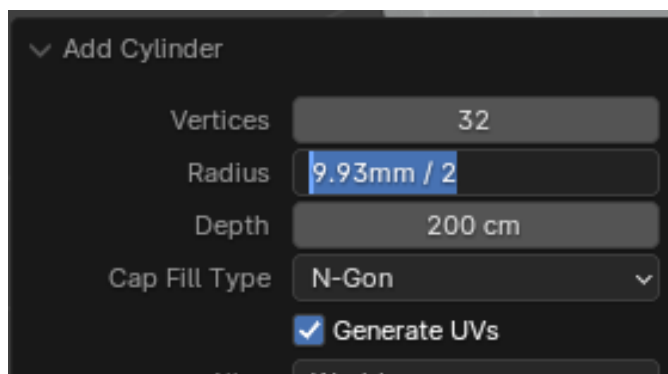


Рис. 3.7 – Додання виразу до параметру радіусу.

Вирівнюю зображення креслення патрону до діаметру отриманого циліндру, та вирівнюю інші деталі до цього креслення за допомогою команд *extrude* та *scale*.

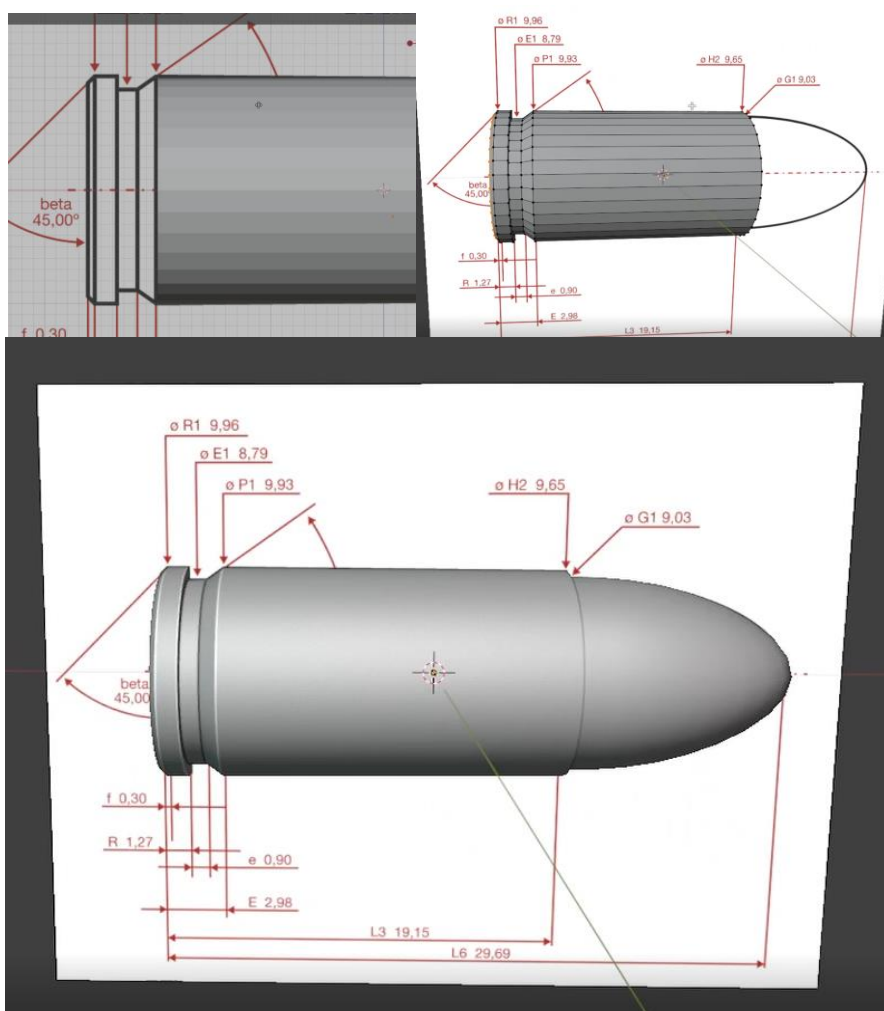


Рис. 3.8 – Моделювання патрону за референсом.

					КРБ.КІ.1.442-03.1.7	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розставляю підтримуючі лупи біля країв моделі та додаю модифікатор *Subdivision Surface* – так можна отримати високодеталізовану модель, та повернутися до низькодеталізованої просто вимкнувши модифікатор

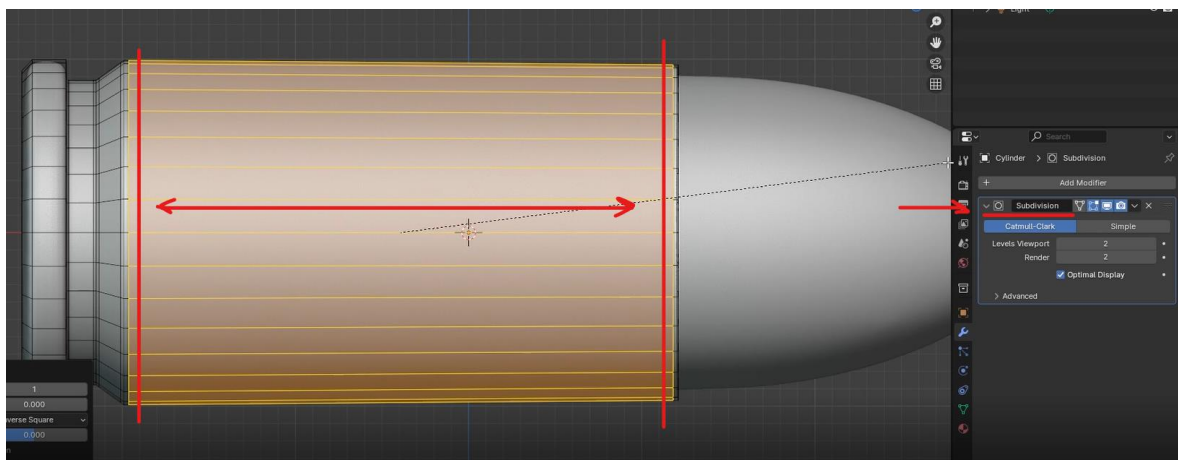


Рис. 3.9 – Додання підтримуючих лупів та модифікатора *Subdivision Surface*.

Після того як патрон готов, можна створювати інші елементи – ствол та магазин. Внутрішній діаметр стволу має бути трохи більшим за діаметр самої кулі, але меншим за задню частину гільзи. До магазину має влізати 15 патронів.



Рис. 3.10 – Розмічання позицій інших об'єктів.

На основі скану можна робити основну раму пістолета. Для цього я буду користатися режимом *Retopology*, який дозволить бачити що знаходиться за моделлю.

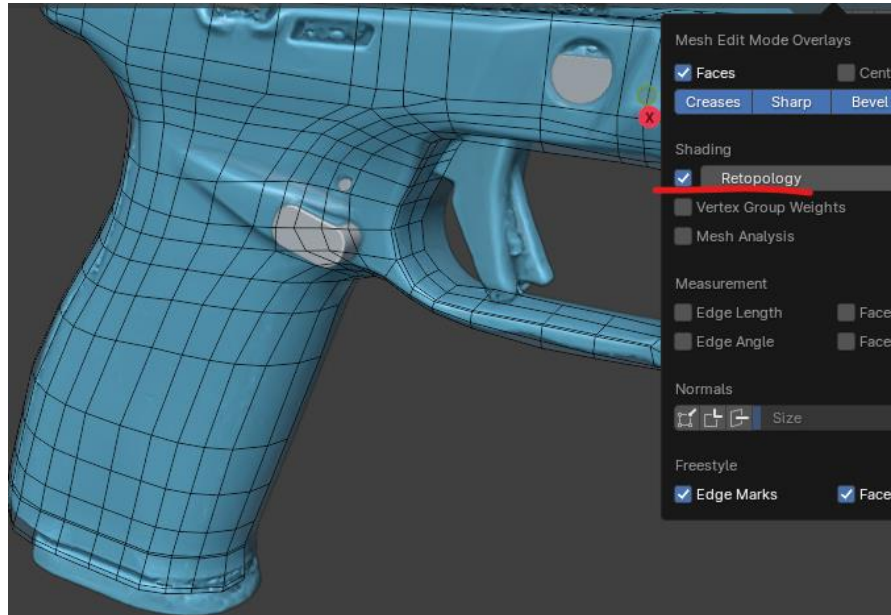


Рис. 3.11 – Розробка рами пістолета.

Додаю розріз вздовж моделі, для того, щоб додати модифікатор віддзеркалювання та зміни робились на обох сторонах моделі одночасно.

Після того, як основна форма рами зроблена, можна приступати до проробки деталей за допомогою булевих операцій. Для спрощення цього процесу можна увімкнути аддон *Bool Tools*, який є в стандартній бібліотеці аддонів. Цей аддон виконує ті ж самі функції, що і стандартний *Boolean* в *Blender*, але візуально спрощує роботу з фігурами.

Одними з перших фігур зробимо фігури, які випрямлять верхню частину рами після згадження. Для цього додамо фігури, виставимо їх за референсами та сканом



Рис. 3.12 – Переглядання булевих операцій.

										Арк.
										54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

Приміняти зміни від булевих операцій в *Blender* ми не будемо – саму операцію будемо проводити в *ZBrush*, а це нам потрібно для того, щоб мати уяву, як будуть виглядати кінцеві результати.

Далі робимо форму для висікання планки Піккатіні на передній нижній частині пістолета. Вона служить для кріплення модифікацій до зброї, таких як лазерні цілевказателі або фонарики. Стандарт планки Піккатіні також можливо знайти в мережі. На етапі збору референсів були знайдені креслення.

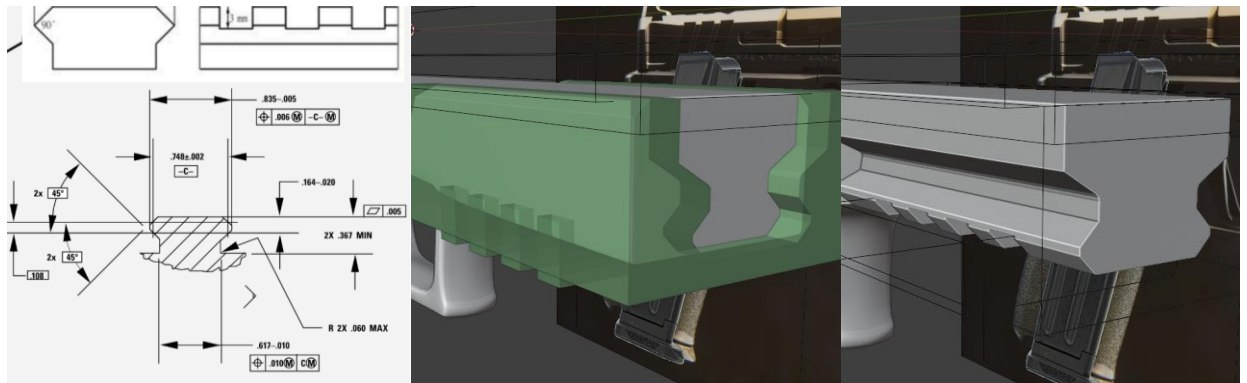


Рис. 3.13 – Розробка форми планки Піккатіні.

До задньої частини рами необхідно навпаки додати деяку форму. Форма задньої частини скруглена та незручна для моделювання, тому тут за допомогою булевих операцій можна додати геометрію на незручні місця. Для цього замість параметру *Difference* обираємо *Union* в меню *Bool Tools*.

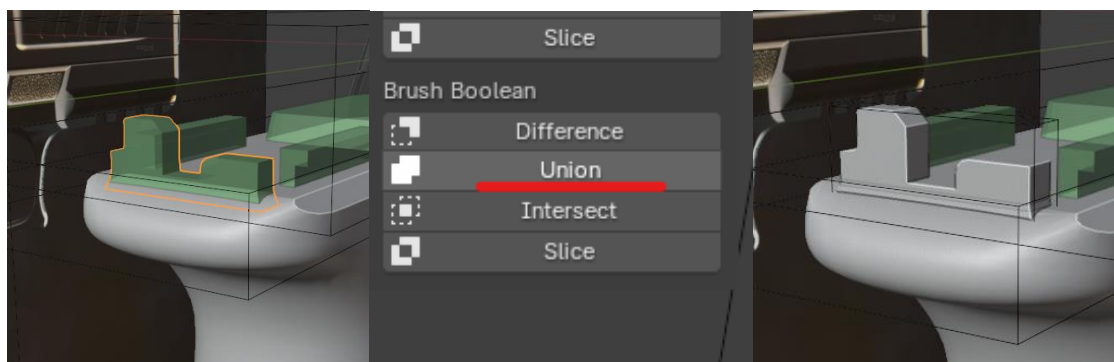


Рис. 3.14 – Додання геометрії за допомогою булевих операцій.

Продовжуємо додавати форми для віднімання від основної моделі, поки не отримаємо результат бажаний результат, який буде відповідати референсам та скан-моделі. Періодично можна вимикати деякі форми, якщо швидкодія

програми почне знижуватися. *Blender* не дуже гарно працює з великою кількістю одночасних булевих операцій, тому можна або вимикати деякі форми, або зробити копію стартового мешу, заховати його як резервну копію, та примінити зміни, щоб працювати далі.



Рис. 3.15 – Кінцевий результат рами після булевих операцій.

Для того щоб спростити майбутню роботу в *ZBrush*, віднімаємим формам потрібно зазначити гострі ребра та додати модифікатор *Edge Split*, налаштований тільки на гострі ребра. Це розділить модель у місцях гострих ребер, що можна буде використати для автоматичного зазначення гострих ребер в *ZBrush*, для того, щоб при згладжуванні геометрія в цих місцях не деформувувалась. Зшити модель обратно можна буде потім в самому *ZBrush*.

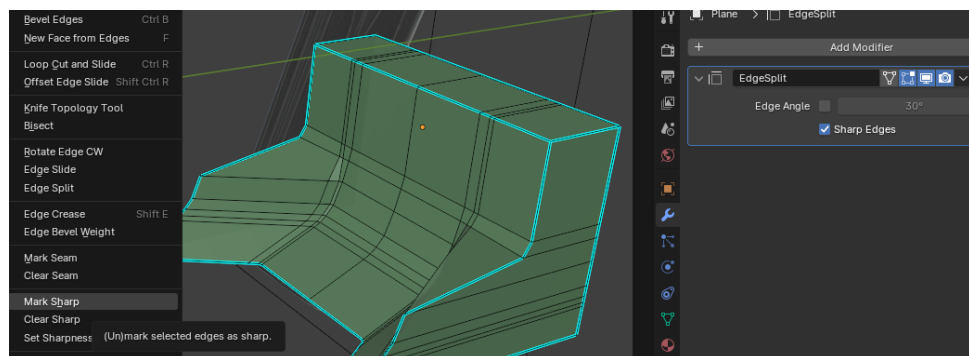


Рис. 3.16 – Визначення гострих ребер та додання модифікатору *Edge Split*.

За тим самим принципом виконуємо форму затвору, магазину, стволу та інших деталей моделі, в тому числі прицільні засоби та стойка пружини.

						КРБ.КІ.1.442-03.1.7	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			56

Засічки на задній та передній частині було створено одною моделлю, розмноженою за допомогою модифікатора *Array*. Завдяки цьому модифікатору можна висатити однакову відстань між об'єктами.

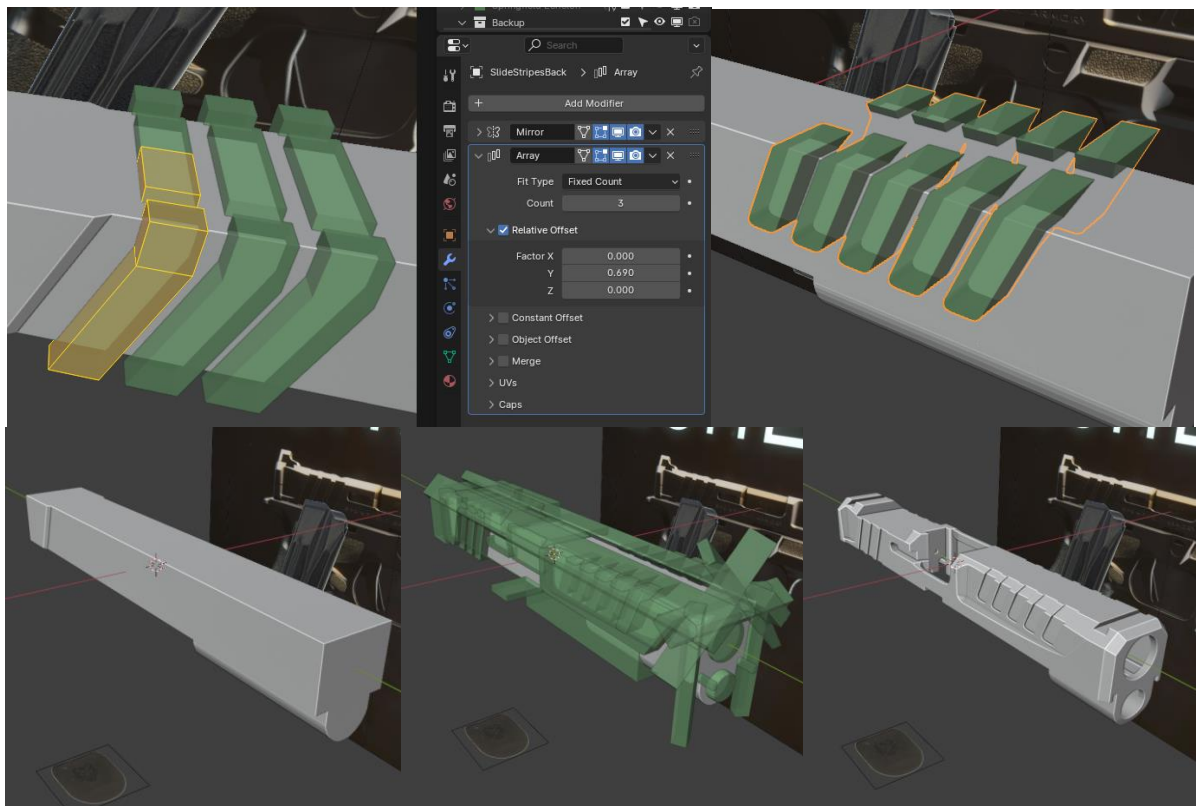


Рис. 3.17 – Процес розробки затвору.

Для розробки магазину було створено зі звичайного плейну та використано модифікатори *mirror* для примінення змін на обох сторонах моделі, *bevel* для створення скругленості на передній частині магазину та *solidify* для придання товщини. Для того щоб скругленість магазину була тільки на деяких ребрах, використаю ліміт скруглення за допомогою *bevel weight*. Таким чином, на ребрах, на яких не буде виставлено *bevel weight*, *bevel* примінятися не буде.

					КРБ.КІ.1.442-03.1.7	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

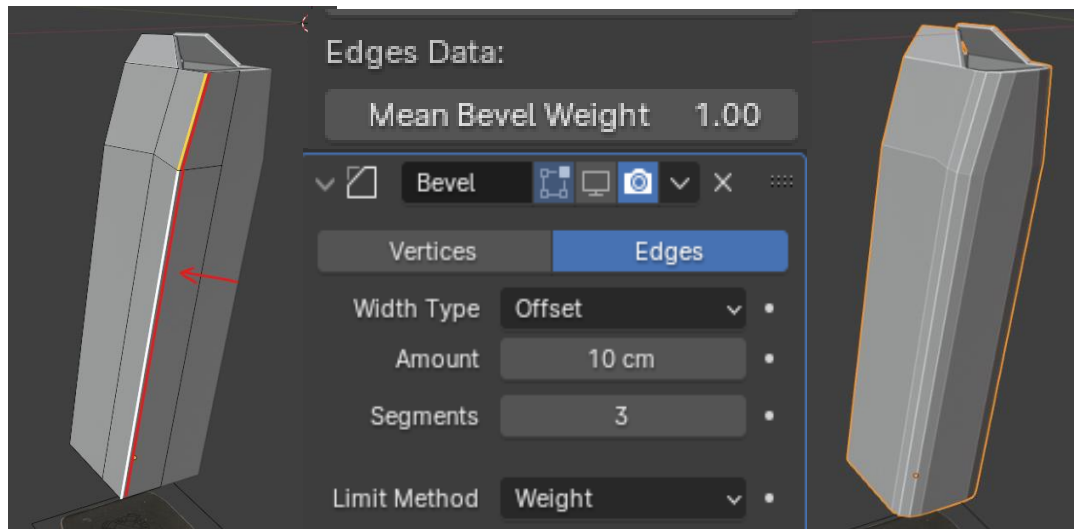


Рис. 3.18 – Використання параметру *bevel weight*.

Зміна форми за допомогою модифікаторів є неструктивним моделюванням. Це означає, що всі ці зміни моделі можна легко відмінити, та вони не впливають на початкову форму моделі.

Додаю деталізацію та приміняю модифікатори до моделі. Відмічаю гострі ребра, а згладження буде проведено вже в *ZBrush*. Гострі ребра відмічаються синім кольором.

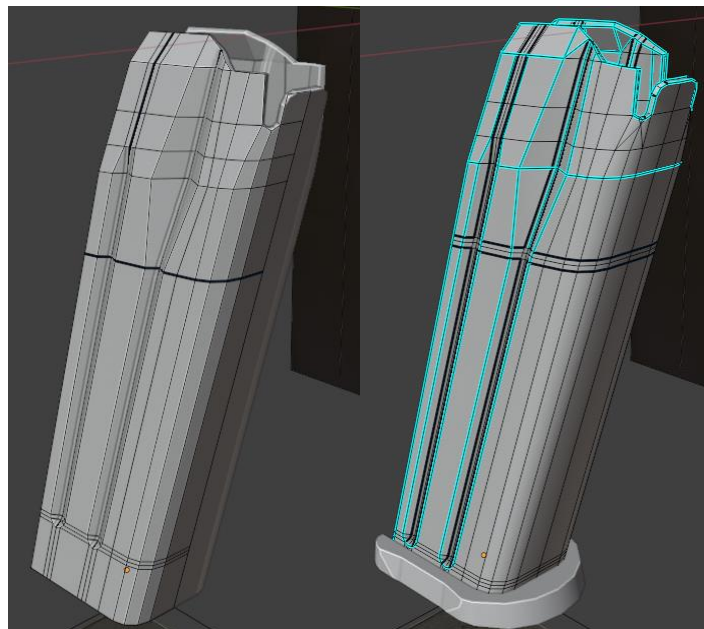


Рис. 3.19 – Додання деталізації та гострих ребер.

Після того як всі форми для відсікання готові, а на них виставлено гострі ребра в потрібних місцях та додано модифікатор *Edge Split* з параметром *Sharp*

					КРБ.КІ.1.442-03.1.7	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Edges, можна переносити всі моделі до *ZBrush*. Для цього обираємо всі об'єкти та натискаємо кнопку *export* з емблемою *ZBrush*. Для більш зручного експорту спочатку можна розподілити об'єкти за колекціями та експортувати порційно, для того щоб одразу додавати об'єкти вже до колекцій в *ZBrush*.

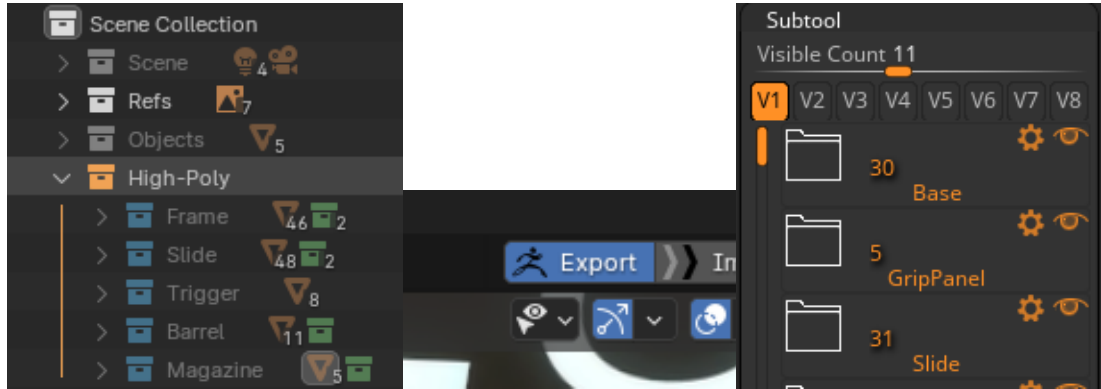


Рис. 3.20 – Експорт та розподілення за колекціями.

Об'єкти в колекціях *ZBrush* потрібно розподіляти за порядком примінення булевих операцій. Так, основна форма має знаходитися на самому верхньому рівні колекції, а на ній має бути вмикнуто старт булевого ланцюга. Об'єкти знизу будуть додаватися, якщо вмикнуто параметр *Union* у вигляді двох світлих кружочків, та відсікатися, якщо обрано *Difference* у вигляді одного світлого та одного сірого кружочка. Всі об'єкти що знаходяться поза колекцією об'єкта з відміткою *Start*, не будуть приймати участь в змінах.

Після імпорту кожному об'єкту до якого було надано модифікатор *Edge Split*, потрібно примінити *Crease* з параметром *CTolerance* 180 градусів, примінити *WeldPoints* та вмикнути *Dynamic Subdivision*. Робимо *Divide* доки вугловатості не перестануть бути помітними.

Після цього можна увімкнути *Live Boolean* та ми отримаємо вид моделі з відсіченою геометрією у формі об'єктів які ми імпортували до програми. Приміняємо зміни булевих операцій за допомогою параметру *Make Boolean Mesh* з ввімкнутим параметром *DSDiv*.



Рис. 3.21 – Вплив положення об’єкту в ієрархії та режиму операції.

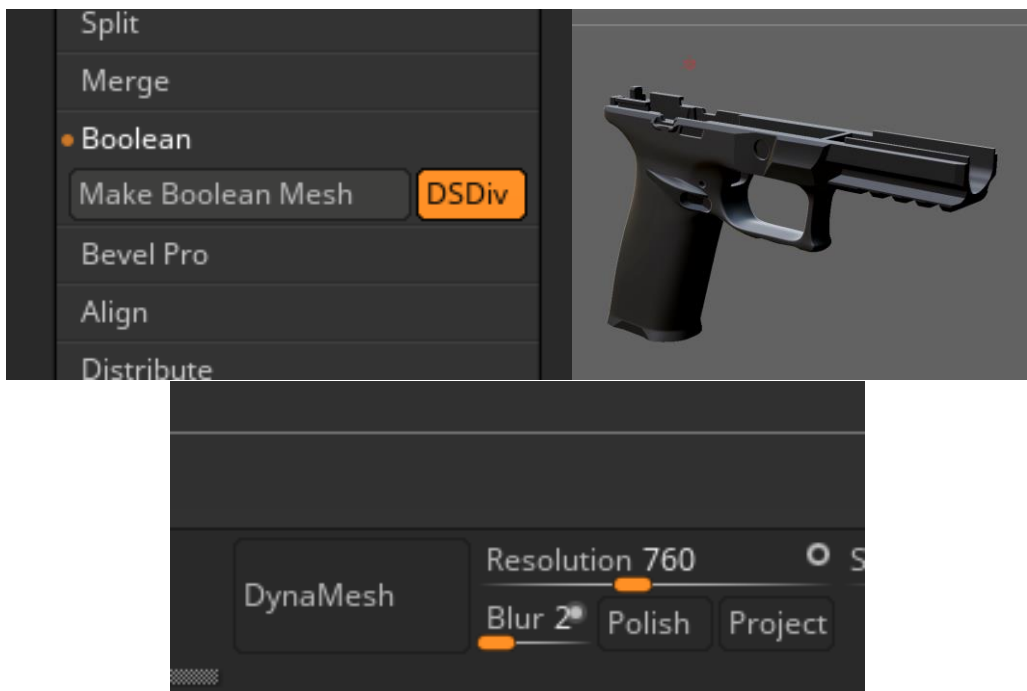


Рис. 3.22 – Примінення всіх операцій.

Об’єкти відокремляться до окремого інструменту, де будуть розділені в залежності від колекції. В залежності від того, на скільки колекцій буде розбито документ, стільки об’єктів в кінці буде отримано.

Всім об’єктам проведемо ремеш за допомогою *DynaMesh* – виставляємо роздільну здатність та моделі буде зроблено рівномірну дуже плотну сітку.

					Арк.
					60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

Далі згладимо грані об'єктів за допомогою інструменту *Polish Crisp Edges*. Цей інструмент автоматично та дуже зручно згладить ребра, та це не доведеться робити вручну на кожному ребрі. Після цього спрощуємо модель до працездатної кількості геометрії за допомогою *Decimate* до 20% від початкової геометрії.

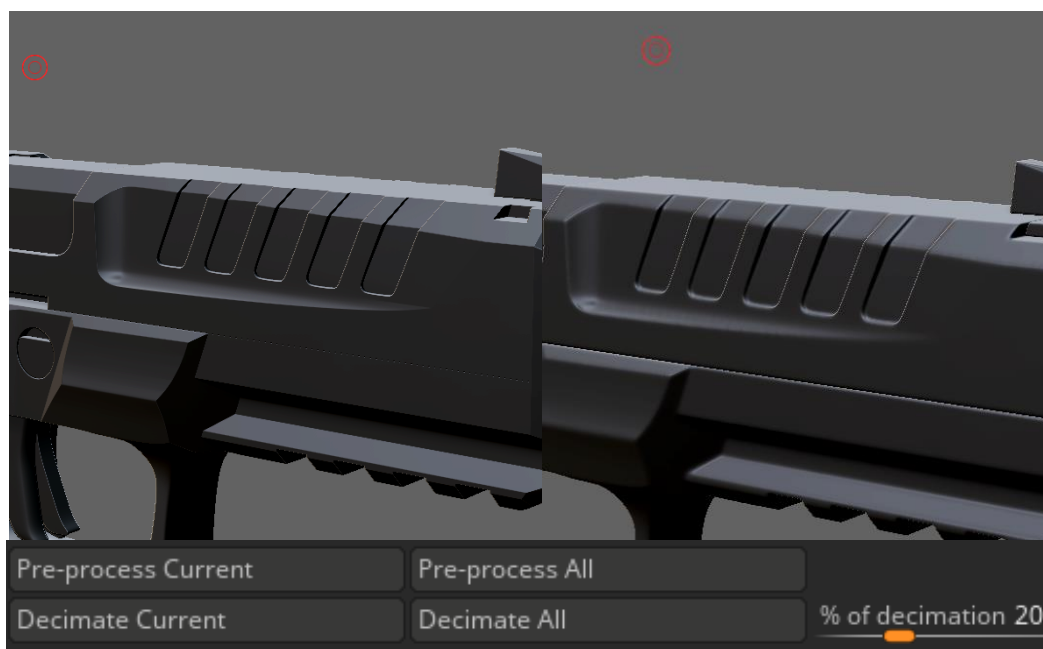


Рис. 3.23 – Згладження ребер та спрощення геометрії.

Таким чином модель спростилась з 30 мільйонів вершин до 3 мільйонів вершин, при цьому на деталізованих моментах *ZBrush* залишає геометрію, та спрощує без втрачання якості. Після цього високодеталізовану модель можна вважати готовою, та можна її експортувати.

3.3 Розробка низькодеталізованої моделі та UV розгортки

Для того щоб зробити низькодеталізовану модель, примінемо всі булеві операції прямо в *Blender*. Таким чином ми отримаємо модель, за формою повторюючи оригінал, але топологія даної моделі не буде гідна для роботи.

Одним з основних правил моделювання грамотної сітки є запобігання використанню *N-Gon*-ів.

N-Gon – це грань у виді багатокутника, в якого кількість кутів перевищує 4 кути. В ідеалі модель має складатись з квадрів (чотирикутників) та трикутників.

						КРБ.КІ.1.442-03.1.7	Арк. 61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

Виправляємо модель, поєднуючи верхівки за допомогою інструменту *knife* та *join vertices* таким чином, щоб формувалися чотирикутники та трикутники, а також прибираючи зайві верхівки, які не мають користі.

Причиною для позбавлення від *N-Gon*-ів є їх можлива некоректна інтерпретація в інших програмах при спробах перетворити їх на трикутники, або взагалі помилки при спробі імпорту.

Різні рушії та програми мають свої алгоритми триангуляції моделей, що призводить до формування графічних артефактів в місцях де алгоритм не зміг розрахувати розділення на трикутники. Особливо такі проблеми помітні, якщо грань не є рівною на всіх площинах.

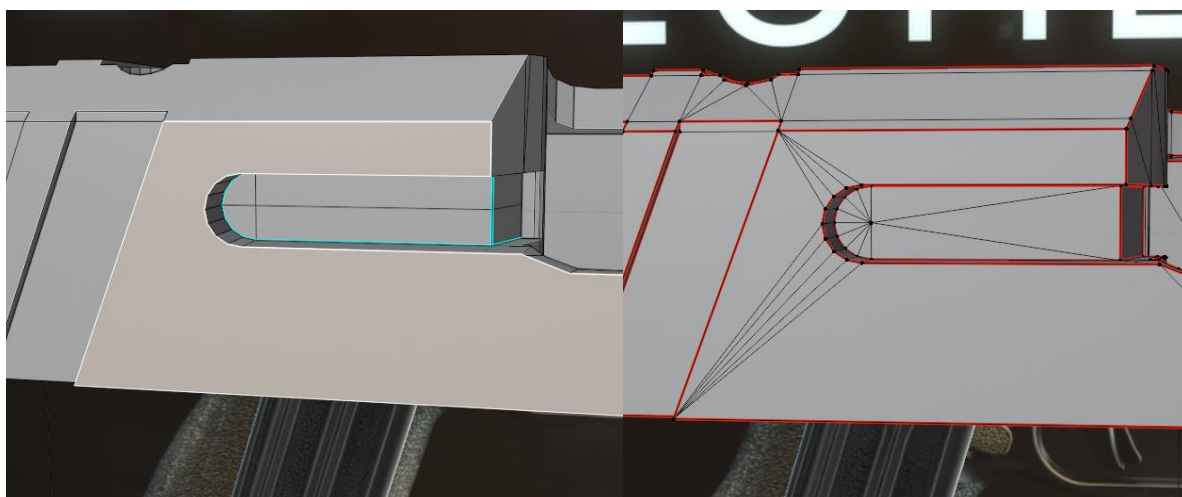


Рис. 3.24 – Приклад виправлення *N-Gon*-ів.

Результатом має бути модель, яка буде складатися тільки з чотирікутників та трикутників, при цьому не відрізняючись від оригінальної форми, тому що це дуже важливо при записанні деталізації з високодеталізованої моделі.

Таким же чином виправляю всі інші об'єкти, та слідкую за кількістю геометрії. Потрібно, щоб кількість верхівок у моделі не перевищувала 10 тисяч. Це середня кількість геометрії на подібних моделях в інших проектах.

Після того, як модель готова, необхідно зробити *UV* розгортку. Вона потрібна для того, щоб на модель можна було накладати а також записати текстури та текстурні карти.

					КРБ.КІ.1.442-03.1.7	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

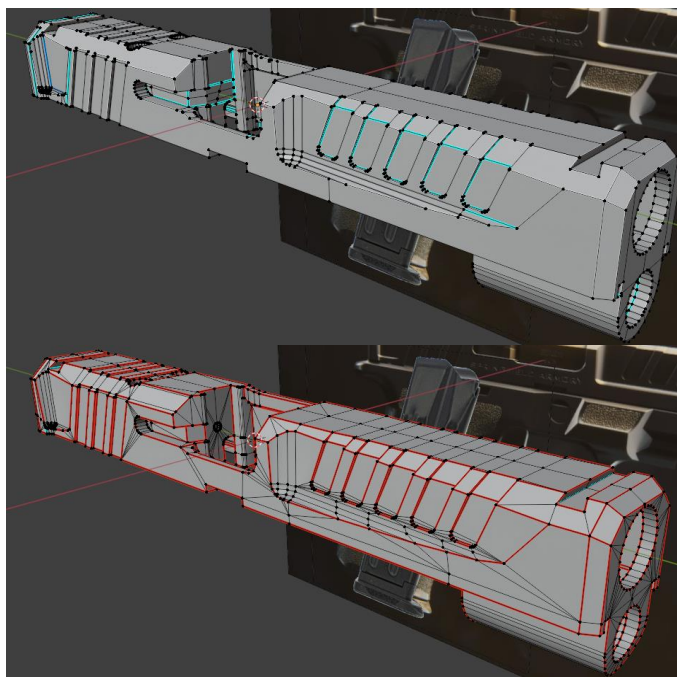


Рис. 3.25 –Вигляд моделі затвору після видалення *N-Gon*-ів.



Рис. 3.26 – Кінцевий вигляд моделі після обробки.

Для того, щоб при запіканні ребра виглядали коректно та не мали швів, потрібно щоб ребра, які мають гострий кут були розрізані.

Для створення розгортки буде достатньо вбудованих інструментів *Blender*. Для того щоб зазначити місця розрізання, обираємо ребро, та в контекстному меню обираємо пункт *Mark Seam*. Ребра зі швами визначаються красним кольором.

					КРБ.КІ.1.442-03.1.7	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

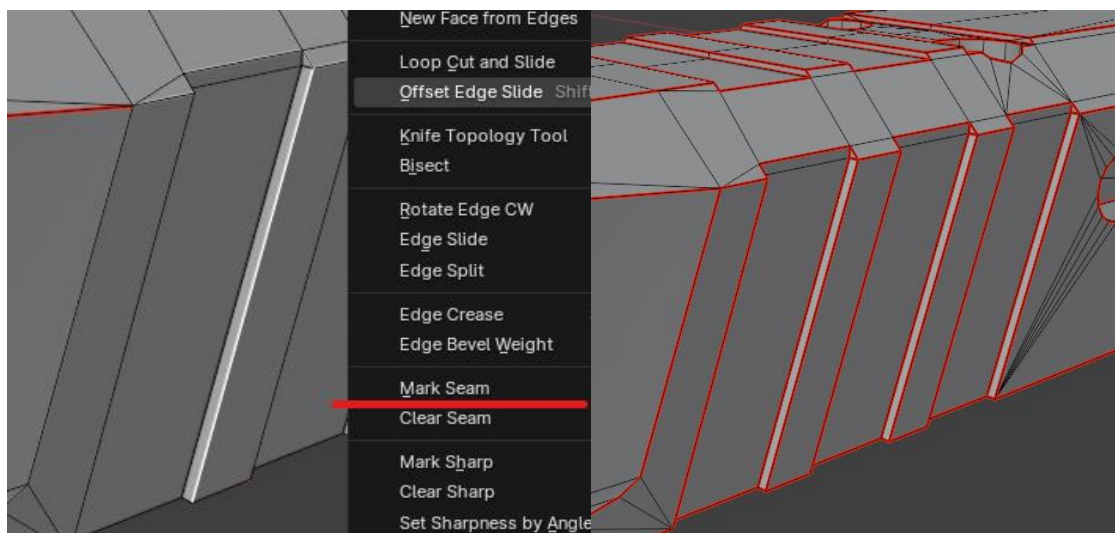


Рис. 3.27 – Зазначення швів на ребрах моделі.



Рис. 3.28 – Кінцевий вигляд зазначених швів на моделі.

Коли всі шви на об'єктах визначено, можна перейти до вкладки *UV Editing*, обрати всі грані всіх моделей одночасно, та в контекстному меню обрати *UV Unwrap Faces – Unwrap*. Після цього у вікні *UV Editor* можна буде побачити розгортку моделі. Одночасне розгорнення всіх моделей дозволяє зберегти плотність пікселів на квадратний сантиметр для запобігання помітної різниці в якості зображення на різних участках моделі.

Перевіряємо на наявність некоректно розгорнутих островів, якщо є помилки, додаємо шви де потрібно та повторюємо розгортку.

					КРБ.КІ.1.442-03.1.7	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

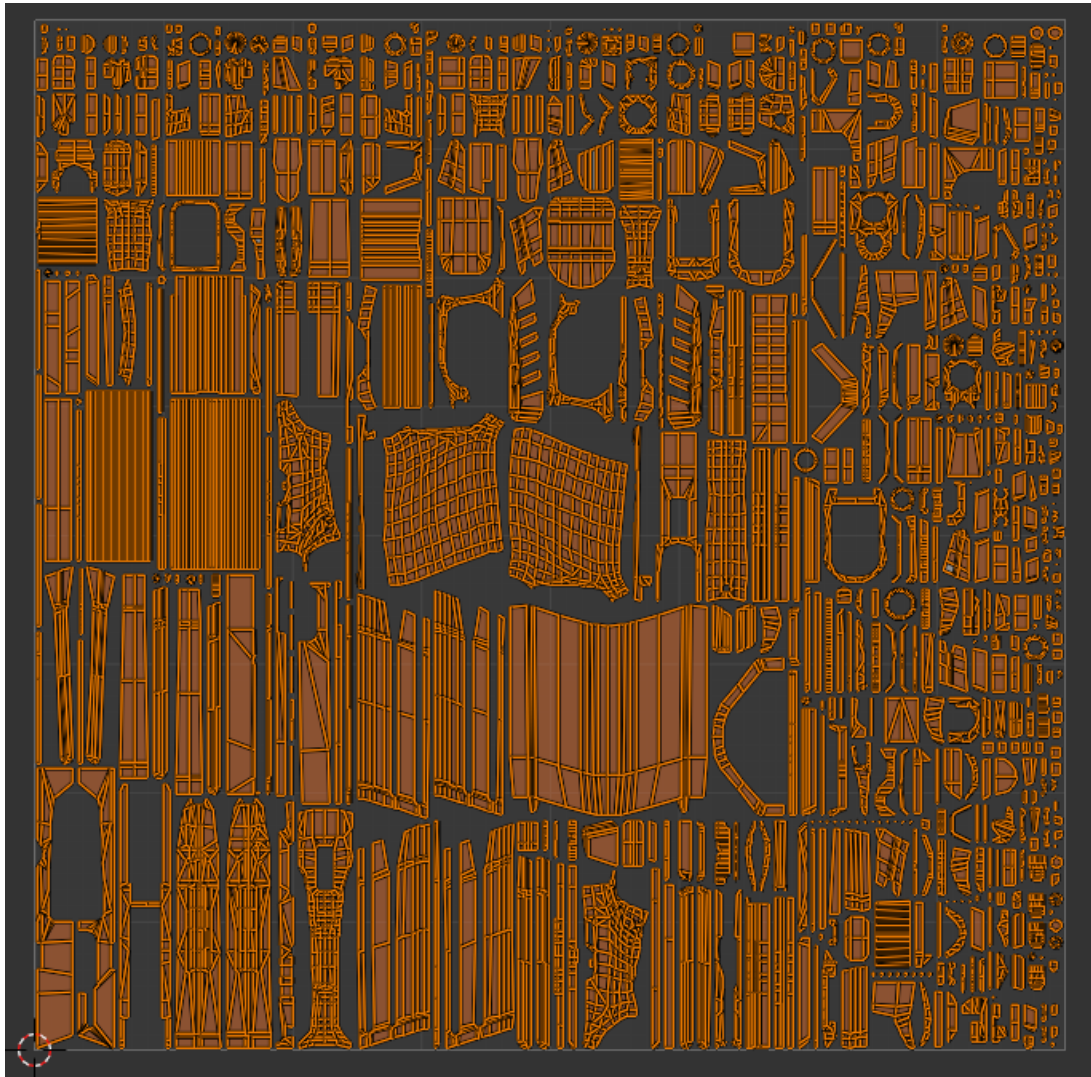


Рис. 3.29 – Вигляд UV-розгортки моделі.

Після того як низькодеталізована модель та розгортка готова, можна переходити до запікання.

3.4 Запікання та текстурування

Експортуємо низькодеталізовану модель та високодеталізовану модель до окремих *FBX* файлів. Перед цим необхідно переконатися, що всі назви однакових об'єктів високодеталізованої та низькодеталізованої моделі співпадають, але у кінці кожної назви є кінцівка «*_high*» чи «*_low*». Тобто повинні сформуватися пари, наприклад: «*Slide_high*» у об'єкта затвору високодеталізованої моделі та «*Slide_low*» у об'єкта затвору низькодеталізованої моделі.

						КРБ.КІ.1.442-03.1.7	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			65

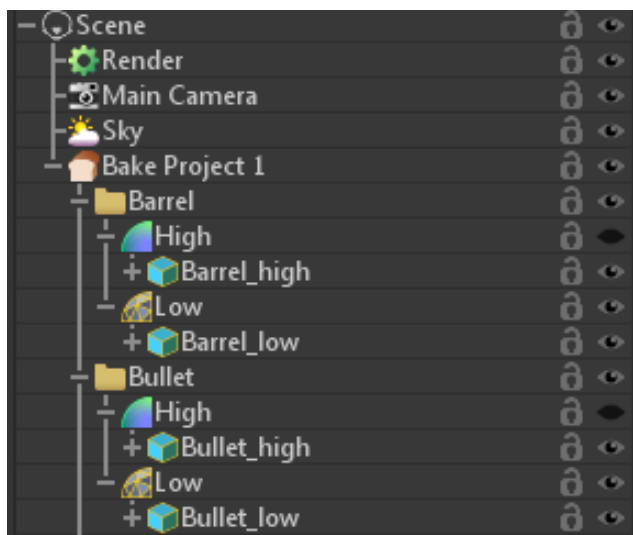


Рис. 3.32 – Вигляд ієрархії сцени після імпорту.

У розділі *Output*, знаходячись на вкладці *Bake Project*, обираємо формат та роздільну здатність текстури, локацію експорту, та які саме карти будуть запічені, після чого натискаємо *Bake* у лівому верхньому куту вкладки. Через деякий час на моделі має з'явитися запечена карта нормалей.



Рис. 3.33 – Вигляд низькодеталізованої моделі до та після запікання.

Перевіряємо модель на наявність артефактів. Для виправлення артефактів можна редагувати розмір клітки запікання, направленість нормалей та кут запікання.

					КРБ.КІ.1.442-03.1.7	Арк.
						67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Тепер потрібно додати рел'єфну поверхню на рукояті. Для цього створюю пустий *Fill Layer* (заповнювачий слой) та виставляю в каналах його впливу тільки канал висоти (*height*). Таким чином цей слой буде впливати тільки на нерівності, залишаючи колір, шерохватість та металевість нетронутим.

Для того, щоб отримати необхідну текстуру додаю до слоя модифікатор *Fill*, де також залишаю тільки канал висот. У графі *Height* знаходжу процедурну клітинну текстуру «*Cells 1*». Змінюю параметри процедурної текстури доки не отримаю найбільш схожий на референс.

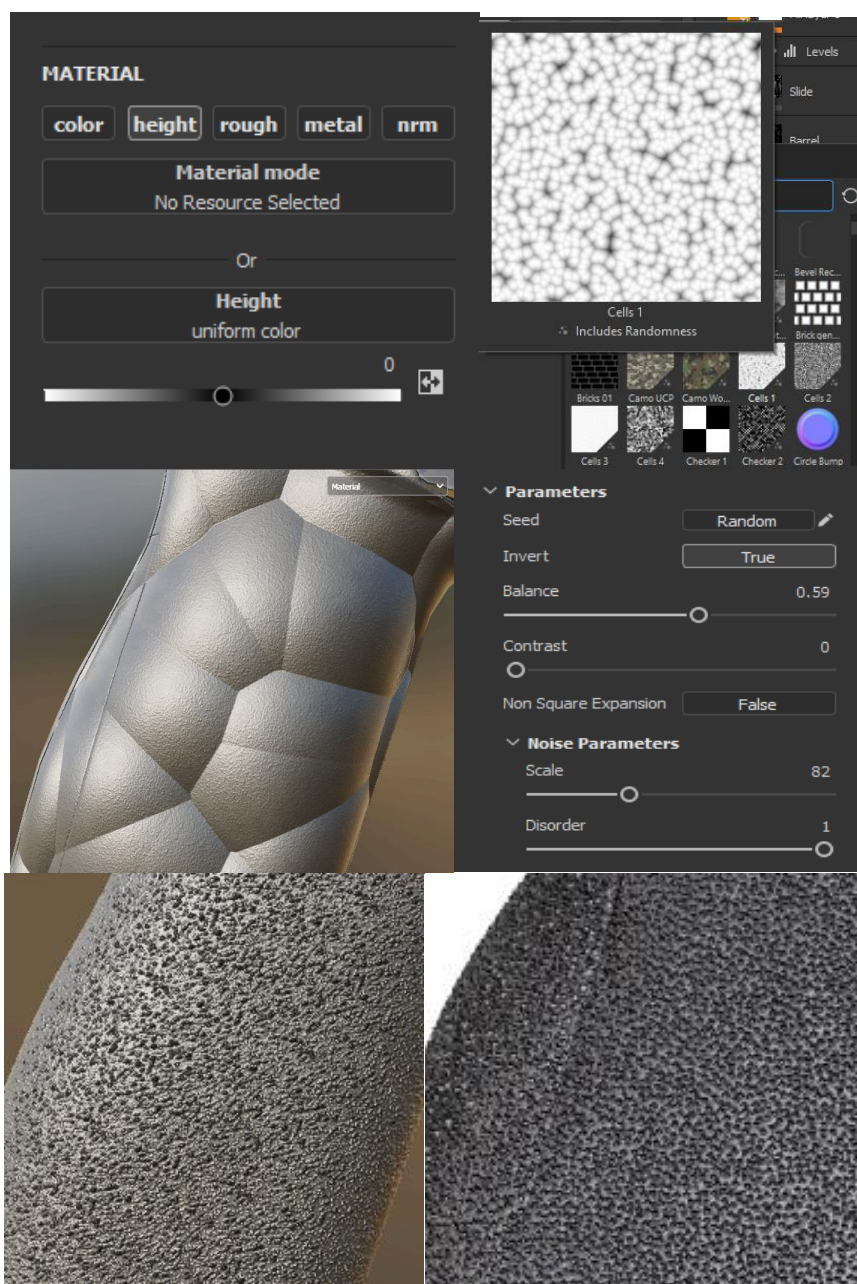


Рис. 3.37 – Процес створення процедурної рельєфної поверхні.

Для того, щоб цей рельєф був тільки в зазначених зонах, додаю чорну маску, та використовую звичайну кисть для того, щоб обмалювати зони цього слою прямо на моделі. Для спрощення цього процесу виставляю в налаштуваннях інструменту максимальну силу та непрозорість, а також вмикаю режим симетрії. Таким чином зміни будуть примінятися одночасно на обох сторонах моделі. Прямую лінію можна швидко робити, натискаючи на початкову точку, а потім на кінцеву точку з зажатою клавішею *Shift*.



Рис. 3.38 – Процес обмалювання зон рельєфної поверхні.

Далі необхідно додати написи – серійні номери, логотипи, назви моделі та компанії. Це можна реалізувати за допомогою штампів. Для штампів у якості текстури буде обрана карта прозорості з логотипом чи написом. Ці карти можна легко створити в *Photoshop* – для цього потрібно зробити прозорий фон, а сам об'єкт зробити білим кольором.

Створюю в *Photoshop* документ з розміром 512 на 512 пікселів. Видаляю слой з фоном та додаю логотип *Springfield Armory*. За допомогою інструменту «чарівна паличка» виділяю непрозорий білий фон та видаляю його клавішею delete. Вношу деякі зміни до зображення за допомогою пензлика та гумки і додаю зверху фільтр «негатив» для того, щоб інвертувати кольори і перетворити чорний колір на білий.

Для написів використовую звичайний інструмент додання тексту. Підбираю найбільш схожий шрифт. Для напису «*Springfield Armory*» та «*Echelon*» використаю шрифт «*BankGothic Lt BT*» та трохи зменшую його висоту.

											Арк.
											71
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							

Таким же чином додаю написи на бокові частини затвору та на стволі. У якості серійного номеру я зробив свої ініціали та останні числа дати закінчення роботи над проектом. Для більш зручної перевірки вигляду можна змінювати кут освітлення поєднанням клавиш «*shift*» та правої кнопки миші.



Рис. 3.40 – Накладення рельєфних зображень за допомогою штампів.

Після закінчення текстурування експортуємо зображення – обираємо локацію експорту, тип файлу та шаблон експорту. Я обираю шаблон «*PBR Metallic Roughness*». Таким чином я отримую чотири текстурних карти – карта нормалей, базовий кольор, металевість та шороховатість.

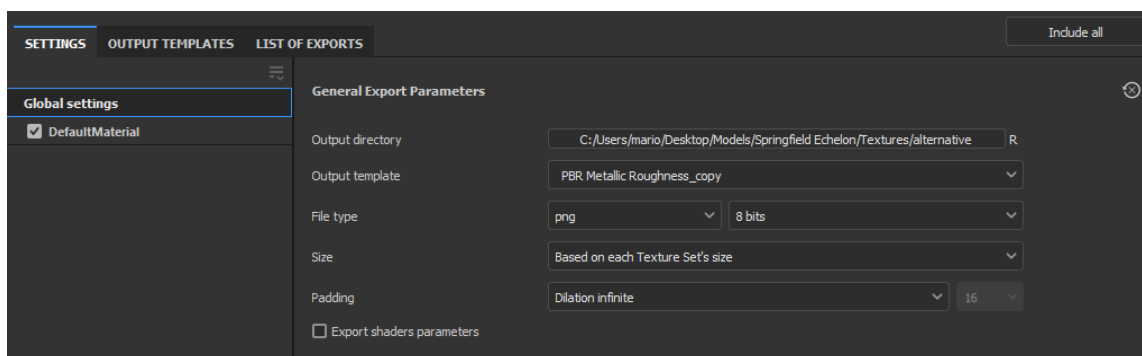


Рис. 3.41 – Вікно експорту текстур.

Імпортуємо всі карти до *Blender* та підключаємо їх до відповідних каналів шейдингу у вкладці *Shading*. Не забуваємо вказувати кольоровий простір – для всіх карт крім базового кольору це має бути простір *Non-Color*.

Карта нормалей має підключатися до компоненту *Normal Map*, решта підключається напряму до співвідносних каналів.

					КРБ.КІ.1.442-03.1.7	Арк.
						73
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рис. 3.42 – Фінальний вигляд моделі (зверху) в порівнянні з референсом (знизу).

					КРБ.КІ.1.442-03.1.7	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		74

3.5 Створення рігу, анімація та монтаж відеоролика

Перед створенням анімації потрібно створити ріг, або скелет для моделі. Додаємо на сцену об'єкт «*armature*». Обираємо його, та переходимо до режиму редагування клавишею «*Tab*». Основною кісткою, яка буде батьківською до всіх інших кісток буде кістка рукоятки. Переміщуємо її початок до низу рукояті, а її кінець до висоти затвору. Додаємо ще кістки комбінацією клавиш «*shift+a*». Розподіляємо кістки відповідно до компонентів – для затвору, стволу, курка, ричагу затворної затримки, магазину та кнопок збросу магазину. Обираємо всі кістки, останньою обираємо кістку рукоятки та комбінацією клавиш «*ctrl+p*» робимо кістку рукояті батьківською до всіх інших.

Надаємо всім кісткам відповідні назви на вкладці параметрів кісток.



Рис. 3.43 – Анімаційний скелет моделі.

Далі на самих об'єктах в режимі редагування обираємо всю геометрію та комбінацією «*ctrl+g*» додаємо вершини до нової вертексної групи. Даємо цій групі назву в залежності від кістки до якої ця геометрія має належати. Назви цих груп та кісток мають бути однаковими.

										Арк.
										75
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

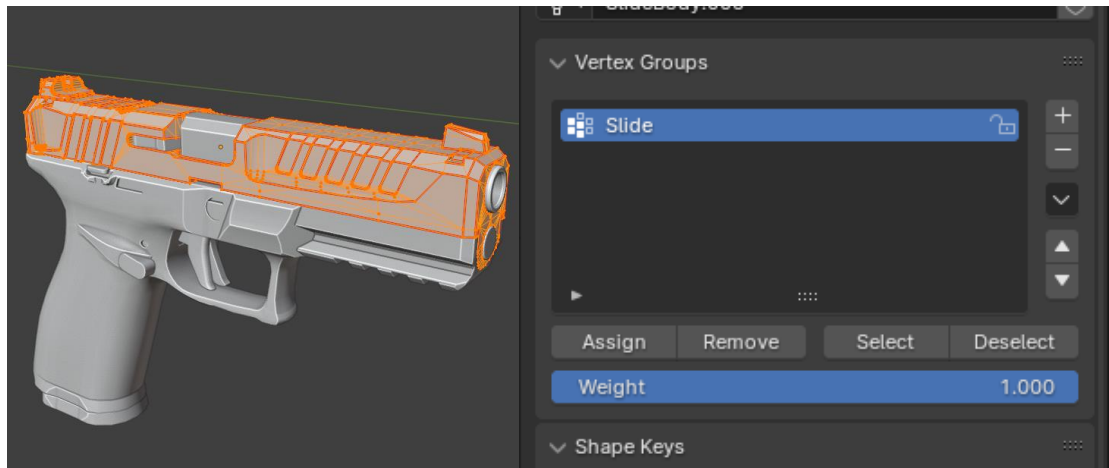


Рис. 3.44 – Додання геометрії до вертексних груп.

Обираємо спочатку всі об'єкти, потім скелет та комбінацією клавиш «ctrl+p» зв'язуємо об'єкти зі скелетом. Якщо все було зроблено вірно, то при русі кісток в режимі пози, відповідні об'єкти також мають рухатися.

Для більш зручної роботи зі скелетом, створюю спеціальні форми у вигляді звичайних об'єктів. Видаляю грані об'єктів, але залишаю тільки ребра. Тепер у параметрах кісток у режимі пози, обираю для відображення інші кольори та тільки що зроблені форми.

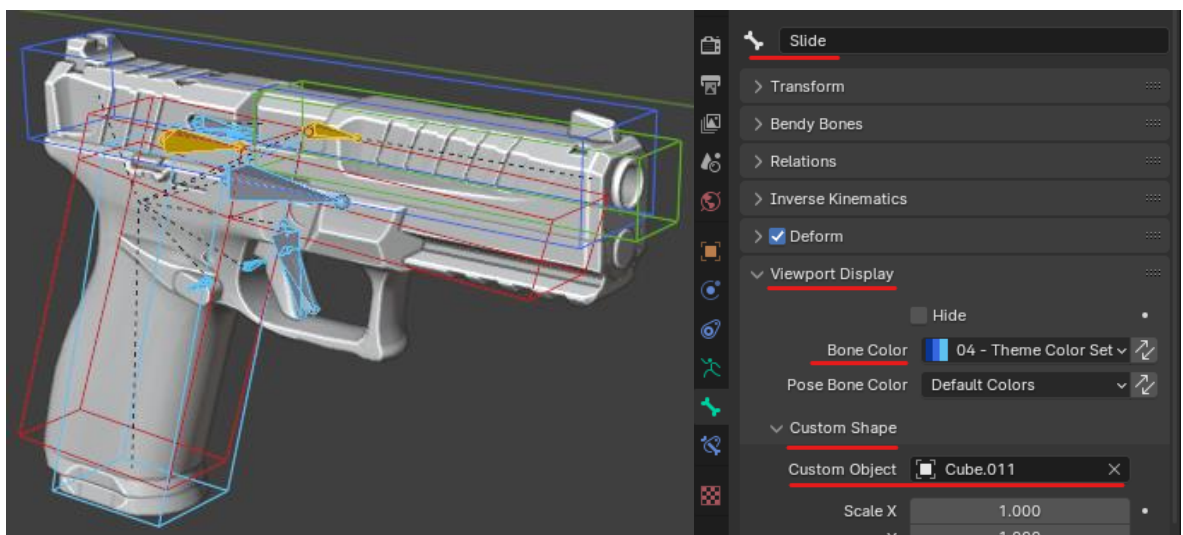


Рис. 3.45 – Додання власних форм та кольорів до скелету.

Для кісток обмежую осі для переміщення та обертання. Таким чином як би ми її не рухали, кістка буде рухатися тільки за одною осью та не буде перекашуватися. Для кістки затвору також додаю модифікатор залежності «Limit

					КРБ.КІ.1.442-03.1.7	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		76

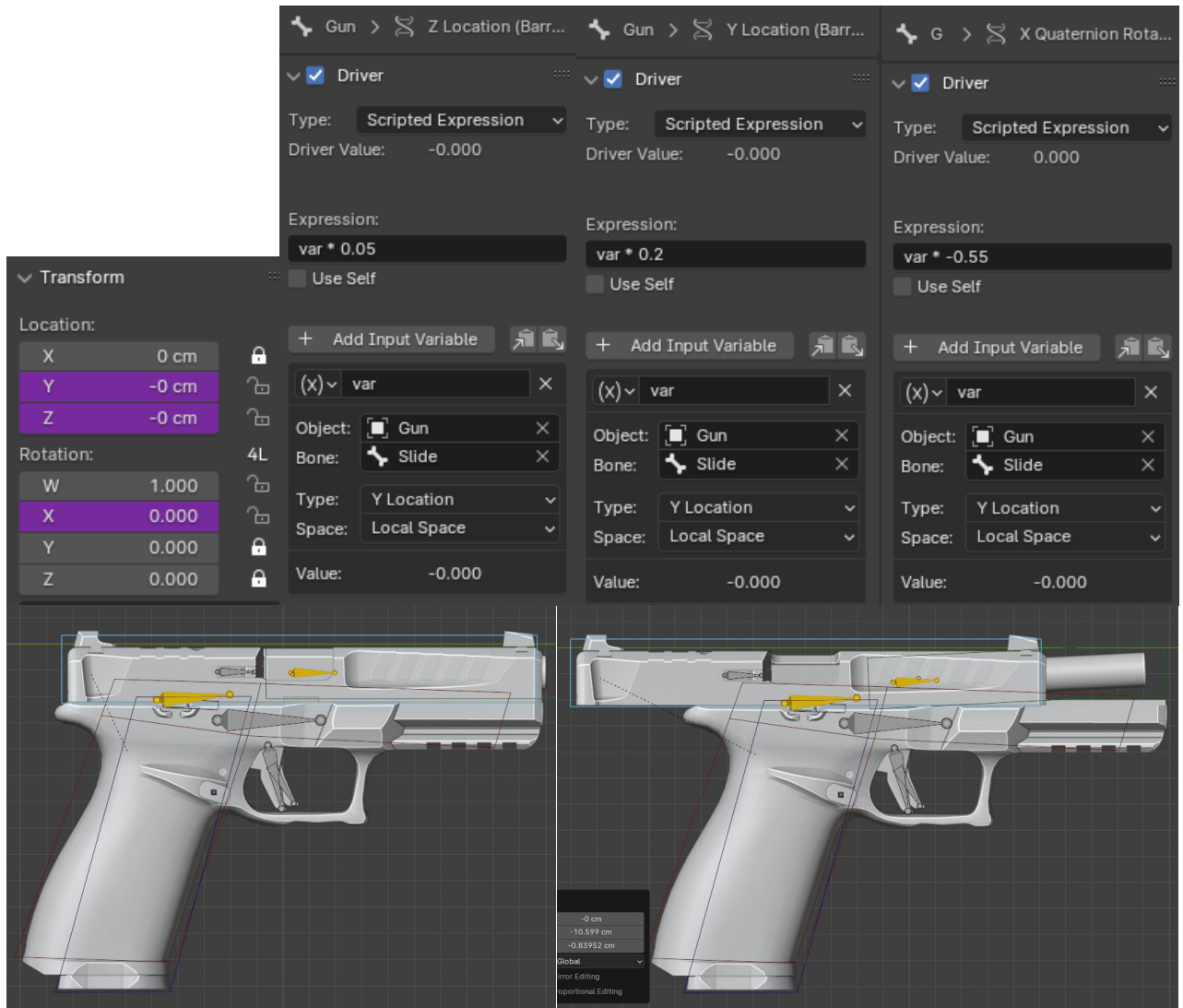


Рис. 3.47 – Створення драйверу залежності руху ствола від руху затвору.

Коли скелет налаштовано, можна приступати до анімації. В *Blender* анімації називаються діями. Кожному об'єкту можна призначити дію. Кожна дія, яка була створена для цього об'єкту буде експортуватися разом з ним.

Всього буде створено 5 анімацій – доставання, бездія, постріл, перезарядка звичайна, та з пустим магазином.

Обираємо скелет та створюємо нову дію у вікні «*Dope Sheet – Action Editor*». Принцип анімації в *Blender* – ключова анімація. Для створення руху необхідно створити 2 ключових точки на таймлайні, де перша – початкова позиція кісток, а друга – кінцева позиція. Рух інтерполюється між цими точками автоматично, таким чином переміщуючи ключі на таймлайні, можна регулювати швидкість руху. Чим ближче ключі один до одного, тим швидше буде рух.

У вкладці *Compositing* є базовий відеоредактор. Додаю обидва кліпи, додаю музику та ефекти затухання на кінцях відеорядів. Знову рендерю відео щоб об'єднати ролики в одне ціле.

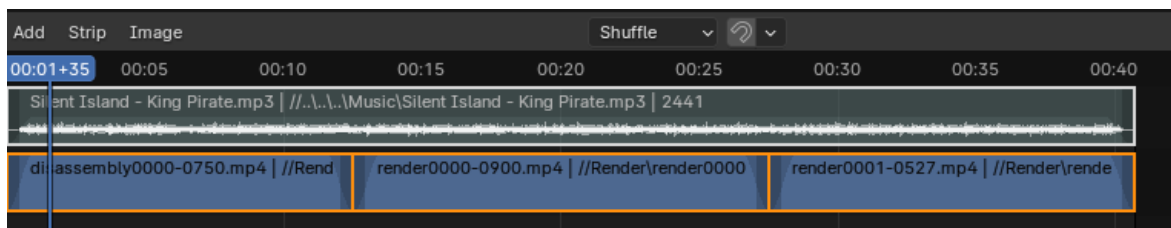


Рис. 3.50 – Вікно відеоредактора на вкладці *Compositing*.

В результаті отримано демонстраційний відеоролик у форматі *mp4*.

3.6 Імпорт до ігрового рушія *Unity 3D*

Коли модель експортовано в форматі *fbx* із запакованими до нього текстурами, можна додати модель до ігрового проекту.

Для демонстрації можливості додання моєї моделі до ігрового проекту, я додам її до проекту «*No More Room For Gamedesigner*», який було розроблено мною та моїм одногрупником *Арсеном Арамовичем Азатхановим*.

В проекті вже створено контролер персонажу – за допомогою нього гравець може пересуватися, стрибати, цілитися, стріляти, перезаряджатися та отримувати шкоду від ворогів.

В префабі контролера персонажа є анімований об'єкт зброї, який виконує заготовлені анімації при необхідних умовах.

В цього об'єкту є контролер анімацій та аватар, що використовує скелет зброї. Тобто для того, щоб анімації моделі можна було використовувати в моєму проекті, моделі необхідно прив'язати контролер та згенерувати аватар.

Імпортую модель до проекту, перетягнувши її з проводнику *Windows* до вікна файлів проекту. Модель має імпортуватися одразу з матеріалом та зазначеними до потрібних місць текстурними картами.

У вікні самої моделі мають бути складові об'єкти, їх матеріали та набір анімацій. Для того, щоб скрипти, які виконують менеджмент анімацій не

Робимо відокремлені копії анімацій, для цього виділяємо всі анімації серед компонентів об'єкту моделі, та натискаємо «*ctrl+d*» - таким чином в нас тепер анімації лежать окремими об'єктами в проекті.

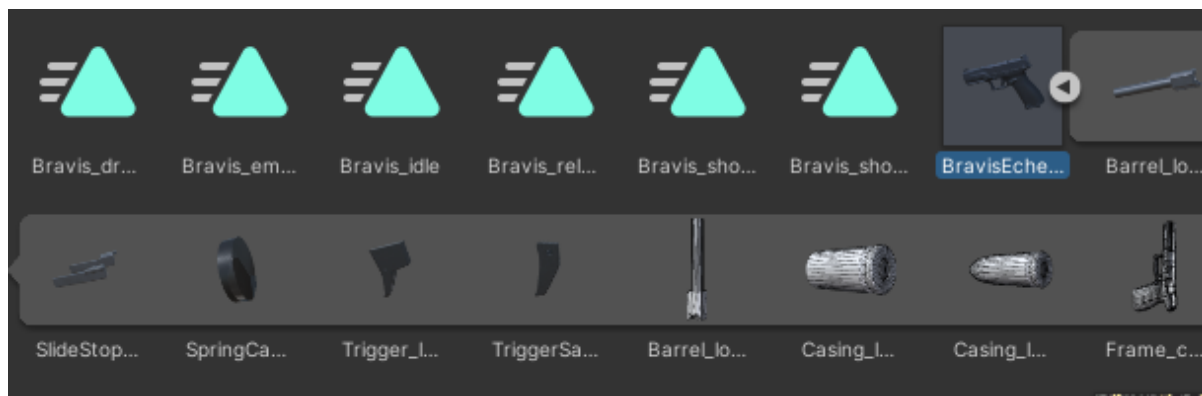


Рис. 3.53 – Відокремлені анімації пістолета в файлах проєкта.

Тепер знаходжу префаб контролера гравця – в мене він називається «*FP Player*». Серед компонентів префабу знаходжу компонент «*saigaHands*» - саме цей компонент має контролер анімацій та аватар. Видаляю компонент з моделлю старої зброї, та перетаскую модель містолета замість нього. У компоненті аніматор обираю старий контролер анімацій від попередньої зброї, тому що скрипт зброї ссилається саме на нього.

Аватар обираю від нової зброї – перетягую його з вікна проєкту до пункту Avatar в інспекторі.

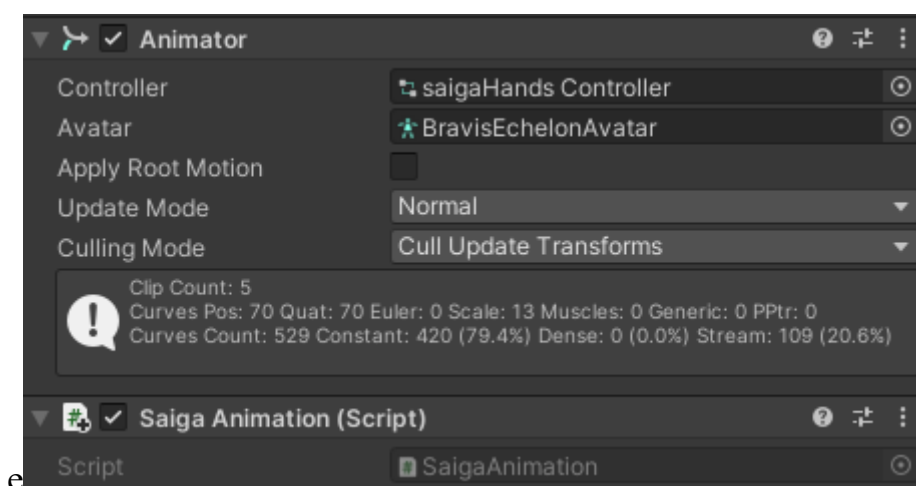


Рис. 3.54 – Вікно компоненту *Animator* в інспекторі контролера гравця.

Тепер потрібно замінити старі анімації в контролері анімацій. Для цього двічі натискаю на «saigaHands Controller», після чого відкриється вікно з деревом анімацій.

Перетягую нові анімації з вікна проекту до потрібних місць.

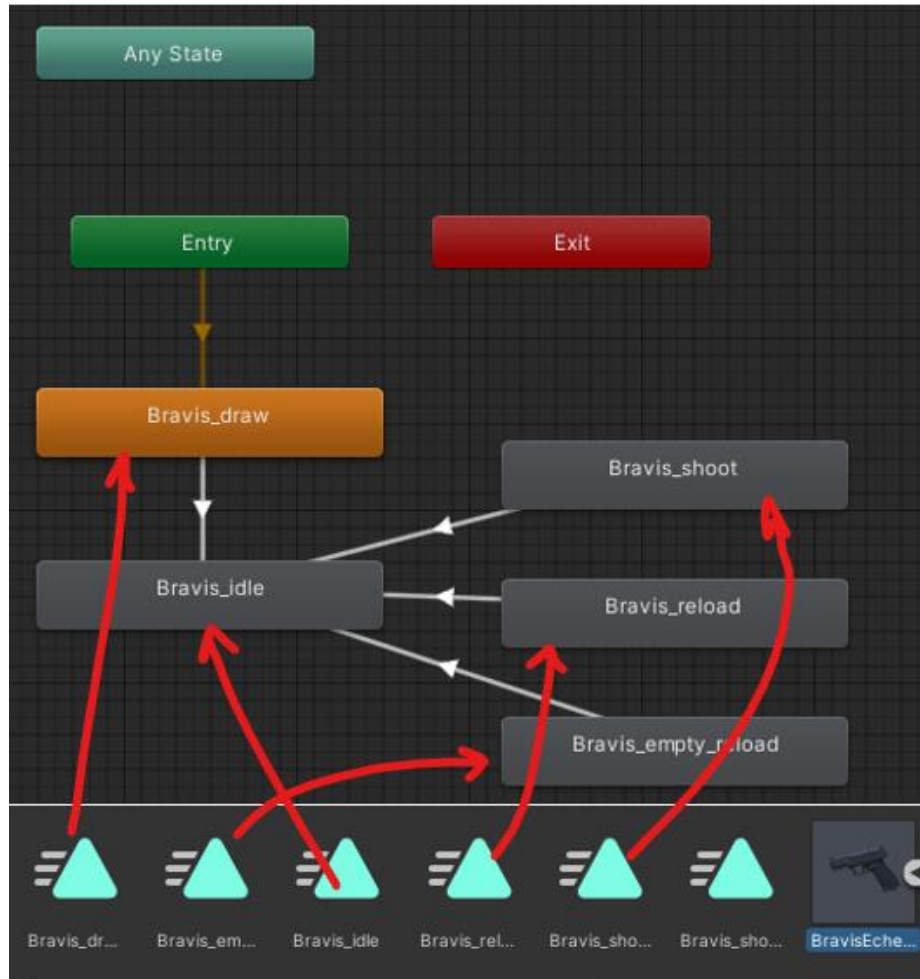


Рис. 3.55 – Вікно дерева анімацій контролера «saigaHands Controller» та розподілення анімацій.

Створюю новий префаб зі зміненого на сцені контролера персонажу – для цього перетягую його з ієрархії сцени до вікна файлів проекту.

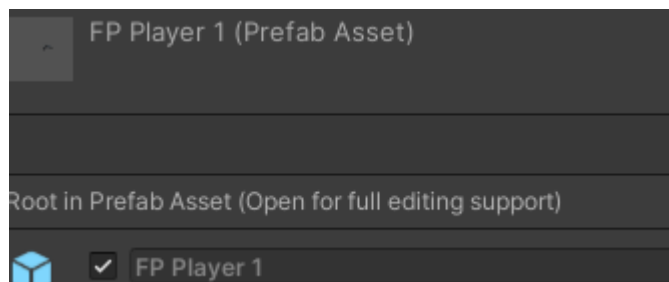


Рис. 3.56 – Вікно префабу в інспекторі.

									Арк.
									83
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

Тепер можна перевіряти – запускаємо *Play Mode*. При натисканні лівої кнопки миші має програтися анімація пострілу, при натисканні кнопки «R» має програтися анімація перезаряджання, при перезаряджанні з пустим магазином має програтися анімація перезаряджання і відпускання затвору.

В моєму проєкті пістолет не може наносити урон ворогам, тому що в проєкті не було передусмотрено додання іншого типу зброї, та для виправлення цього необхідно змінювати код. Але все одно можна побачити демонстрацію функціонування зброї в ігровому проєкті.

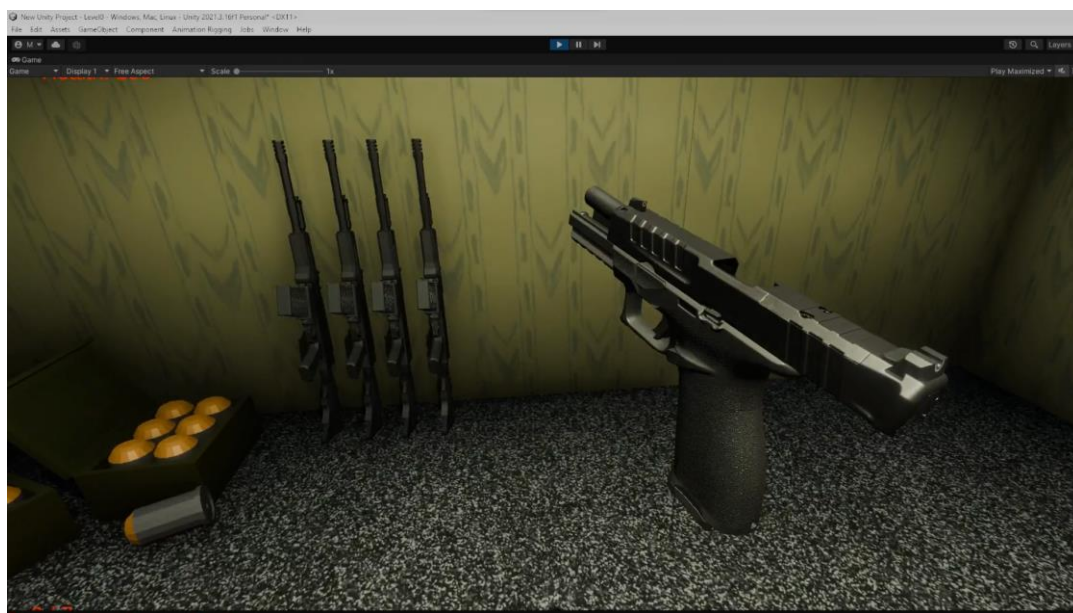


Рис. 3.57 – Вікно *Play Mode* з оновленою зброєю.

Висновки до третього розділу

Підготовлено програмне забезпечення та сцени до роботи, розроблено високодеталізовану та низькодеталізовану 3D модель.

Розроблено UV-розгортку до низькодеталізованої моделі.

Проведено запікання та текстуровання низькодеталізованої моделі.

Розроблено анімаційний скелет, анімації та демонстраційний ролик.

В результаті отримано 3D-модель у форматі *.fbx* з набором текстур і текстурних карт, а також демонстраційний відеоролик.

Імпортовано модель до проєкту «No More Room For Gamedesigner» на Unity 3D та продемонстровано її функціонал та спроможність використання.

					КРБ.КІ.1.442-03.1.7	Арк.
						84
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 4

ЕКОНОМІЧНІ РОЗРАХУНКИ

4.1 Організаційно-економічне обґрунтування роботи

4.1.1 Огляд аналогів і конкурентів

В умовах відкритої ринкової економіки розширюється діапазон оцінки ефективності науково-технічних розробок, а отже, збільшується кількість основних видів ефективності НДДКР, які необхідно визначити з метою цієї оцінки. До них належать:

1. Науково-технічний ефект. Пайплайн розробки моделі намагається спростити та скоротити час, необхідний для отримання *game-ready* моделі.
2. Економічний ефект. Розробка моделі – відносно швидкий та дешевий процес, але досить затребуваний – дуже велика кількість ігор потребує моделей зброї для виду від першої особи.
3. Соціальний ефект. Гра, яка використовуватиме розроблені моделі приносить суспільству як позитивні, так і негативні наслідки. Переваги полягають у позитивному проведенні часу, та розвитку когнитивних навичок у гравця. Недоліком може бути занадто довге проведення часу в грі, що може мати негативний ефект для здоров'я.
4. Маркетинговий ефект. Ігри жанру «*First Person Shooter*» досить відомі, тому створення моделей зброї для таких ігор, допускають доцільність їх створення.

При виконанні дипломної роботи, була створена *game-ready* модель пістолету «*Springfield Echelon*».

За масштабом проект, що розробляється, відноситься до середніх проектів, які невеликі по масштабу, прості і обмежені об'ємами.

За термінами реалізації проект короткостроковий (термін реалізації до 3 років). По складності проект, що розробляється, є проектом середньої складності.

					КРБ.КІ.1.442-03.1.7	Арк.
						85
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

За характером цільового завдання – комбінований проект. По характеру проекту – галузевий проект.

Call Of Duty: Modern Warfare (2019)

Call of Duty: Modern Warfare — дуже відома і популярна відеогра, шутер від першої особи, розробляється *Infinity Ward* і видана *Activision/Blizzard*.

Гра розроблена в реалістичному сучасному сетінгу.

Відзначається динамікою та чутним управлінням, а також високим рівнем проробки візального виду зброї, її поведінки та анімацій.

В іграх *Call of Duty* останніх років є можливо найвища якість реалізації моделей та анімацій зброї. «*Modern Warfare*» саме 2019 року підвищила планку якості проробки як моделей, так і анімацій.



Рис. 4.1 – Скріншот з гри «Call of Duty: Modern Warfare» 2019 року

Insurgency Sandstorm

Insurgency: Sandstorm – багатокористувальний тактичний шутер від першої особи, в сетінгу війни на Близькому Сході, розроблений компанією *New World Interactive* і виданий *Focus Home Interactive*.

Відзначається більш повільним, тактичним та реалістичним геймплеєм. Зброя та взаємодія з нею також пророблена на високому рівні.

					КРБ.КІ.1.442-03.1.7	Арк.
						86
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Акцент також на повільному тактичному геймплеї та реалістичних перестрілках.



Рис. 4.4 – Скріншот з гри «Squad» 2020 року

4.1.2 Порівняльний аналіз зброї в різних ігрових проектах, а також порівняння вартості розробки та ціни на моделі.

Кожна з цих ігор має досить детальні та пророблені моделі зброї. Оцінки та фінансові показники свідчать про успіх кожної, а кількість FPS проектів свідчить про потребу у детальних моделях зброї.

Далі буде проведено аналіз конкурентів та вартості розробки в різних країнах.

Таблиця 4.1

Порівняльний аналіз конкурентів

	<i>Call of Duty: Modern Warfare</i>	<i>Insurgency: Sandstorm</i>	<i>Ready or Not</i>	<i>Squad</i>
Деталізація та складність	Дуже висока якість моделей та анімацій. Найскладніший процес розробки	Менша деталізація моделі, помітні недоліки при деяких умовах	Дуже висока якість моделей та анімацій. Ретельна проробка зброї	Гарна деталізація, недоліків майже не помітно

Продовження таблиці 4.1

Фінансові аспекти	Бюджет становив приблизно 250 мільйонів доларів. Збори становили більше 1 міль'ярду доларів	Бюджет становив від 10 до 20 мільйонів доларів. Приблизна сума зборів – 53 мільйони доларів	Точних даних про бюджет нема, але це інді студія, а приблизна сума зборів – 130 мільйонів доларів	Точних даних про бюджет нема, але це інді студія, а приблизна сума зборів – 130 мільйонів доларів
-------------------	--	--	---	---

Таблиця 4.2

Порівняльний аналіз вигідності розробки 3D-моделей в Україні та інших країнах

Країни	Вартість розробки	Ціна продажу	Коефіцієнт окупності	Строк окупності
Україна	≈ 30000 грн	≈ 1500 грн/од	0,745	1.34 років
Страни ЄС	≈ 53000 грн	≈ 1500 грн/од	0,612	1.63 років
США	≈ 45000 грн	≈ 1500 грн/од	0,652	1.53 років

Ціна на подібні моделі на *Sketchfab* починаються в середньому з 20 та можуть досягати 25 доларів США. Якість цих моделей не завжди відповідає ціні, бувають неточності деталізації.

Ціна на подібні моделі на платформі *Turbosquid* починаються від 25-30 доларів США та можуть досягати 65-70 доларів на детально пророблені моделі. Якість моделей в середньому вище.

									Арк.
									89
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КРБ.КІ.1.442-03.1.7				

Ціни на платформі *CGTrader* колеблються від 20 до 60 доларів. Асортимент менший ніж на *Turbosquid*, але більший ніж на *Sketchfab*. Якість також вище ніж на *Sketchfab*.

4.2 Визначення мети, результатів роботи та їх вартості

Метою дипломної роботи є проектування та розробка *game-ready* моделі пістолету «*Springfield Echelon*».

Для досягнення мети були проаналізовані сучасні тенденції у розробці *game-ready* моделей зброї, досліджені засоби розробки і проекти конкурентів.

Таблиця 4.3

Етапи і стадії роботи

Стадії	Зміст	Тривалість виконання
Технічне завдання	Постановка загальної ідеї, збір референсів, вибір пайплайну та ПЗ.	1 тиждень
Технічний проект	Створення <i>High-Poly</i> (високодеталізованої) моделі за референсами, розділення на окремі об'єкти рухомих частин.	2 тижні
Робочий проект	Створення <i>Low-Poly</i> (низькодеталізованої) моделі для використання в ігрових проектах, створення <i>UV</i> -розгортки, запікання, текстурування.	1 тиждень
Впровадження	Створення анімацій взаємодії, експорт моделі у форматі <i>fbx</i> для подальшого використання в ігрових двигунах.	1 тиждень

Склад робіт по життєвому циклу проекту

№ робіт	Назва робіт	Тривалість робіт, дні
0-1	Вивчення предметної області	2
1-2	Вибір пайплайну та ПЗ	1
2-3	Планування строків виконання необхідних робіт	1
3-4	Збір референсів	1
4-5	Створення <i>High-Poly</i> моделі	10
5-6	Створення <i>Low-Poly</i> моделі	3
6-7	Створення <i>UV</i> -розгортки	1
7-8	Запікання	1
8-9	Текстурування	2
9-10	Анімація пострілу, перезаряджання, бездіяльності	2
10-11	Створення відеоролику та експорт	1

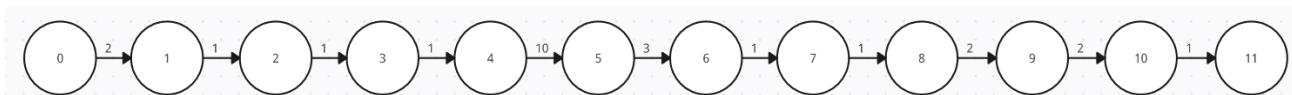


Рис. 4.5 – Мережевий графік проекту

Розрахунок параметрів мережевого графіка:

T_{ij} – тривалість робіт;

$T_{рн}$ – ранній початок робіт;

$T_{ро}$ – раннє закінчення робіт;

$T_{пн}$ – пізній початок робіт;

$T_{по}$ – пізнє закінчення робіт;

R_j – резерв часу.

					КРБ.КІ.1.442-03.1.7	Арк.
						91
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахунок параметрів мережевого графіку

Назва роботи	Попередня	T_{ij}	T_{pi}	T_{po}	T_{ni}	T_{no}	R_j
0-1	———	2	0	2	0	2	0
1-2	0-1	1	2	3	2	3	0
2-3	1-2	1	3	4	3	4	0
3-4	2-3	1	4	5	4	5	0
4-5	3-4	10	5	15	19	20	5
5-6	4-5	3	15	18	24	25	2
6-7	5-6	1	18	19	26	27	2
7-8	6-7	1	19	20	27	28	0
8-9	7-8	2	20	22	30	31	1
9-10	8-9	2	22	23	33	34	1
10-11	9-10	1	24	25	34	35	0

Як вихідні дані для визначення трудомісткості розробки ПП використовується типовий склад етапів і укрупнені норми часу на розробку програмних засобів (ПЗ).

Розроблювальному ПП відповідає з обсягом 2500 умовних машинних команд і трудомісткістю $T_p = 80$ люд.-год.

Трудомісткість розробки ПП включає розробку наступних етапів:

- технічного завдання – ТЗ;
- технічного проекту – ТП;
- робочого проекту – РП;
- впровадження – ВН.

Трудомісткість розроблювального ПП визначається по кожному етапу окремо на підставі трудомісткості аналога з урахуванням складності розробки, ступеня новизни і ступеня використання в розробці стандартних модулів на підставі формул

					КРБ.КІ.1.442-03.1.7		Арк.
							92
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

$$T_{ТЗ} = T_p \cdot L_1 \cdot K_H; \quad (4.1)$$

$$T_{ТП} = T_p \cdot L_2 \cdot K_H; \quad (4.2)$$

$$T_{рп} = T_p \cdot L_3 \cdot K_H \cdot K_T; \quad (4.3)$$

$$T_{вн} = T_p \cdot L_4 \cdot K_H; \quad (4.4)$$

де T_p – укрупнена норма часу на розробку аналога ПП, люд.-годин, що коректуються поправочним коефіцієнтом, який враховує умови розробки ПП.

$$K_K = 0,8;$$

$$T_p = 80 \cdot 0,8 = 64 \text{ люд.-год.}$$

Даний проект має доступні аналоги, тому його можна віднести до ступеня новизни: В.

L_j – питома вага і-го етапу розробки в залежності від ступеня новизни:

$$L_1 = 0,12;$$

$$L_2 = 0,61;$$

$$L_3 = 0,16;$$

$$L_4 = 0,11.$$

K_H – поправочний коефіцієнт, який враховує ступінь новизни (0,7);

K_T – поправочний коефіцієнт, який враховує ступінь використання програм в розробці (0,7);

Тоді:

$$T_{ТЗ} = 64 \cdot 0,12 \cdot 0,7 = 5,37(\text{дні})$$

$$T_{ТП} = 64 \cdot 0,61 \cdot 0,7 \cdot 0,7 = 19,12(\text{дні})$$

$$T_{рп} = 64 \cdot 0,16 \cdot 0,7 \cdot = 7,16(\text{дні})$$

$$T_{вн} = 64 \cdot 0,11 \cdot 0,7 = 4,92(\text{дні})$$

Тривалість розробки ПП у літах визначається за формулою 4.5

$$T_{ПП} = T_{ТЗ} + T_{ТП} + T_{рп} + T_{вн} \quad (4.5)$$

де $T_{ПП}$ – сумарна тривалість розробки.

$$T_{пп} = 5,37 + 19,12 + 7,16 + 4,92 = 36,6 \text{ (дні)} = 0,1 \text{ (рік)}$$

За час розробки візьмемо середнє значення розрахованих показників тривалості проектування та розробки ПП:

$$T_{ппсер} = \frac{5+37}{2} = 21 \text{ (дні)} \quad (4.6)$$

					КРБ.КІ.1.442-03.1.7	Арк.
						93
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 4.6

Розрахунок витрат на програмне забезпечення

Найменування Програмного забезпечення	Кількість	Ціна за одиницю, грн.	Вартість, грн.
<i>ZBrush</i>	1	1334/міс	16000/рік
<i>Marmoset Toolbag</i>	1	566/міс	6800/рік
<i>Adobe Substance 3D Painter</i>	1	733/міс	8800/рік
<i>Adobe Photoshop</i>	1	880/міс	10560/рік
Усього		3513/міс	42160/рік

Таблиця 4.7

Розрахунок основної заробітної плати

Найменування робіт	Трудомісткість робіт у днях	Місячний оклад	Денна заробітна плата	Заробітна плата
1. Розробка моделі	20	15000	682	13640
Усього:	20	–	–	13640

Додаткова заробітна плата враховує оплату чергових відпусток, премії, інші доплати. Приймається в розрахунках 10% від основної.

$$ЗП_{\text{дод}} = ЗП_{\text{осн}} \cdot 0,10 \quad (4.7)$$

$$ЗП_{\text{дод}} = 13640 \cdot 0,10 = 1364 \text{ грн.}$$

Єдиний соціальний внесок (Єсв) приймаються в розмірі 22% від суми основної і додаткової заробітної плати.

$$Єсв = (ЗП_{\text{осн}} + ЗП_{\text{дод}}) \cdot 0,22 \quad (4.8)$$

$$Єсв = (13640 + 1364) \cdot 0,22 = 3300,88 \text{ грн.}$$

Витрати, зв'язані з використанням обчислювальної техніки, визначаються:

$$C_{\text{еом}} = t^{\text{еом}} \cdot K_{\text{в}}^{\text{еом}} \cdot C^{\text{еом}} \cdot K_{\text{е}}^{\text{еом}}; \quad (4.9)$$

$T^{\text{еом}}$ – час використання ЕОМ для розробки даного ПП, години;

									Арк.
									94
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

$T^{свм}$ – 160 годин.

$K^{свм}$ – поправочний коефіцієнт обліку часу використання ЕОМ (1,08);

$Ц^{свм}$ – ціна однієї години роботи на ЕОМ, грн. (5 грн.);

$K^{свм}$ – коефіцієнт обліку швидкодії ЕОМ (1,0 – швидкодія ЕОМ більш 20x10 опер/з; 1,2 – швидкодія ЕОМ менш 20x10 опер/з,)

$$C_{с\text{ом}} = 160 \cdot 1,08 \cdot 5 \cdot 1,0 = 864 \text{ грн.}$$

Накладні витрати враховують адміністративні, загальновиробничі витрати, витрати на збут. Приймаються в розмірі 50% від основної заробітної плати.

$$H_B = 0,50 \cdot 3П_{\text{осн}} \quad (4.10)$$

$$H_B = 0,50 \cdot 13640 = 6820 \text{ грн.}$$

На підставі здійснених розрахунків складається калькуляція планової собівартості ПП.

Таблиця 4.8

Калькуляція собівартості ПП

Найменування статей витрат	Сума витрат (грн.)	Питома вага, %
1. Програмне забезпечення	3513	11,9
2. Основна заробітна плата	13640	46,3
3. Додаткова заробітна плата	1364	4,6
4. Єдиний соціальний внесок	3300	11,2
5. Витрати, пов'язані з обчислювальною технікою	864	2,9
6. Накладні витрати	6820	23,1
Разом:	29501	100

					КРБ.КІ.1.442-03.1.7	Арк.
						95
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Ціна ПП визначається по формулі:

$$Ц = C + П_p, \quad (4.11)$$

C – витрати на розробку програмної продукції (планова собівартість), грн.

П_p – розмір прибутку, розрахований по формулі:

$$П_p = C \cdot \%P_n / 100; \quad (4.12)$$

де: P_n – плановий рівень рентабельності (25%);

Прибуток у ціні ПП становить:

$$П = 29501 \cdot 0,25 = 7\,375 \text{ грн}$$

Ціна ПП становить: $Ц = 29501 \cdot 1,1 + 15982 = 48\,433 \text{ грн.}$

Далі розрахуємо капітальні витрати.

Для розрахунку економічної ефективності проекту визначаються капітальні і поточні витрати, зв'язані з використанням програмного продукту.

Розрахунок капітальних витрат, зв'язаних із впровадженням програмного продукту здійснюється по формулі:

$$K_2 = K_{пп} + K_{п} + K_{ко} + K_{во} \quad (4.13)$$

де: K_{пп} – ціна програмного продукту;

K_п – попередвиробничі витрати;

K_{ко} – вартість комп'ютерного устаткування;

K_{во} – вартість допоміжного устаткування, необхідного для надійної роботи
грн;

Ціна програмного продукту складає 48 433 грн.

Попередвиробничі витрати містять у собі усі витрати, зв'язані з розробкою моделі.

Приймаються K_п у розмірі 100% від вартості розробленого ПП.

$$K_{п} = 48\,433 \text{ грн.}$$

Вартість комп'ютера (K_{ко}) становить 15 000 грн.

Вартість допоміжного устаткування визначається укрупнено в розмірі 10% від вартості комп'ютера.

$$K_{во} = 15\,000 \cdot 0,10 = 1\,500 \text{ грн.}$$

$$K_2 = 48\,433 + 15\,000 + 1\,500 = 64\,933 \text{ грн.}$$

					КРБ.КІ.1.442-03.1.7	Арк.
						96
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.3 Розрахунок показників економічної ефективності та розробка бізнес плану проекту.

Очікуваний економічний ефект визначається по формулі

$$E_o = (C_1 - C_2) - E_n \cdot (K_2 - K_1) \quad (4.14)$$

де C_1, C_2 – поточні витрати відповідно до і після впровадження проекту;

$(C_1 - C_2)$ – річна економія на поточних витратах, грн.;

K_2 – капітальні витрати на впровадження ПП, грн.;

K_1 – капітальні витрати до впровадження ПП, грн.;

E_n – нормативний коефіцієнт ефективності одноразових витрат (рекомендовано $E_n = 0,25$)

$$E_o = 48\,433 - 0,25 \cdot 64\,933 = 32\,200 \text{ грн.}$$

Потім розраховується коефіцієнт ефективності капітальних витрат по формулі:

$$E = (C_1 - C_2) / K_2 - K_1 \quad (4.15)$$

$$E = 48433 / 64933 = 0,745$$

Так, як $E > E_n$, то проект ефективний.

Розраховується строк окупності капітальних витрат на впровадження проекту

$$T = 1 / E = 1 / 0,745 = 1,34 \text{ року} \quad (4.16)$$

Таблиця 4.9

Техніко-економічні показники програмного продукту

Найменування показників	Одиниця виміру	
Трудомісткість розробки проекту	днів	20
Ціна ПП	грн.	48 433
Капітальні витрати	грн.	64 933
Поточні витрати	грн/рік	29 501
Економічний ефект від реалізації проекту	грн/рік	32 200
Строк окупності	років	1.34
Економічна ефективність		0,745

					КРБ.КІ.1.442-03.1.7	Арк.
						97
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

перспективи за рахунок популярного жанру. Також модель може бути легко адаптована для різних двигунів та платформ.

Порівняння коефіцієнту ефективності та одноразових витрат дозволяє зробити висновок, що виконання є економічно вигідним, тому розробка цієї моделі є актуальною. Трудомісткість проекту становить 20 днів; строк окупності проекту – 1,34 роки (16 місяців); капітальні витрати становлять 64 933грн. Ціна програмного продукту – 48 443 грн.

Зробивши оцінку ефективності розробки *game-ready* моделі «*Springfield Echelon*» можна зробити висновок, що розробка даної моделі є вигідною, на що вказує коефіцієнт науково-технічної ефективності.

					КРБ.КІ.1.442-03.1.7	Арк.
						100
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1 Шкідливі та небезпечні фактори в роботі користувача ПК

Життєдіяльність безпосередньо пов'язана з виконанням певного виду робіт та продуктивністю праці, яка визначається як людським чинником, так і засобами виробництва, а також технологічними й організаційними умовами праці. Сьогодні діяльність більшості працівників сучасних професій у виробничій сфері пов'язана з використанням комп'ютерної техніки. Працюючи за комп'ютером, людина потрапляє під вплив різноманітних факторів: електромагнітних полів, інфрачервоного та іонізуючого випромінювання, шуму і вібрацій, статичної електрики.

Робота за комп'ютером вимагає значної розумової напруги і супроводжується нервово-емоційним навантаженням операторів, високою напругою зорової роботи і досить значним навантаженням на м'язи рук під час роботи з клавіатурою ПК. Велике значення має раціональна конструкція і розташування елементів робочого місця, що є важливим для підтримки оптимальної робочої пози в процесі праці.

У процесі роботи за комп'ютером необхідно дотримуватись правильного режиму роботи і відпочинку. В протилежному випадку в персоналу спостерігається незадоволеність роботою, головний біль, роздратування, порушення сну, втома і больові відчуття в очах, попереку, у ділянці шії та рук.

Обчислювальна техніка є джерелом тепловиділення, що може спричинити підвищення температури і зниження відносної вологості у приміщенні.

Рівень шуму на робочому місці не має перевищувати встановлених норм. Для зниження рівня шуму стіни і стеля приміщення, де встановлені комп'ютери, мають бути облицьовані звукопоглинаючими матеріалами.

Оптичне випромінювання включає: ультрафіолетове (УФ), світлове та інфрачервоне.

					КРБ.КІ.1.442-03.1.7	Арк. 101
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

УФ-випромінювання впливає, як правило, на шкіру та очі людини.

Світлове випромінювання впливає, в основному, на очі і провокує їх втому та запалення райдужної оболонки. Однак ці симптоми швидко минають і не викликають патологічних змін.

Для зменшення впливу перерахованих видів випромінювання рекомендується застосовувати монітори зі зниженою випромінювальною здатністю, а також дотримуватись регламентованого режиму праці та відпочинку.

5.2 Методи зниження впливу шкідливих та небезпечних факторів при роботі за ПК.

Заходи щодо усунення небезпеки ураження електричним струмом зводяться до правильного розміщення устаткування та електричних кабелів. Інші заходи щодо забезпечення електробезпеки, збігаються з загальними заходами пожежо та електробезпеки.

Екран дисплею повинен бути розташованим перпендикулярно до напрямку погляду. Якщо він розташований під кутом, то стає причиною сутулості. Відстань від дисплея до очей повинна трохи перевищувати звичну відстань між книгою та очима. Перед екраном монітора, особливо старих типів, повинен бути спеціальний захисний екран. При його відсутності треба сидіти на відстані витягнутої руки від монітора. Ще одним моментом, який стосується зору, є необхідність створення неоднорідного поля зору. Для цього можна розвісити на поверхнях (стінах) плакати та картини, виконані у спокійних тонах. Наприклад, пейзажі.

Важливою є форма спинки крісла, яка повинна повторювати форму спини. Висота крісла повинна бути такою, щоб користувач не почував тиску на куприк або стегна. Крісло бажано обладнати бильцями. Його потрібно встановити так, щоб не треба було тягтися до клавіатури. Періодично користувачу необхідно рухатися, вчасно змінювати положення тіла і робити перерви у роботі.

					КРБ.КІ.1.442-03.1.7	Арк.
						102
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При напруженій роботі за комп'ютером щогодини необхідно робити перерву на 15 хвилин через кожен годину і треба займатися іншою справою. Декілька разів на годину бажано виконувати серію легких вправ для розслаблення.

Наслідками регулярної роботи за комп'ютером без застосування захисних засобів можуть бути: захворювання органів зору, хвороби серцево-судинної системи, захворювання шлунково-кишкового тракту, шкірні захворювання, різноманітні пухлини.

Якщо у приміщенні експлуатується більше одного комп'ютера, то треба врахувати, що на користувача одного комп'ютера можуть впливати випромінювання від інших, в першу чергу бокових, а також і задньої стінки сусіднього дисплея. Тому необхідний захист спеціальними фільтрами і щоб користувач розміщався від бічних і задніх стінок інших дисплеїв на відстані не ближче одного метра.

Отже, щоб запобігти негативним впливам необхідно знати й небезпечні сторони самого комп'ютера і правила безпечної роботи, знати засоби запобігання небезпек. Вони пов'язані перед усім із загально відомими небезпечними факторами - поразками електричним струмом, пожежою небезпечністю.

5.3 Техніка безпеки при роботі з ПК.

Перед початком роботи на ПК користувач повинен:

- пересвідчитися у цілості корпусів і блоків (обладнання) ПК;
- перевірити наявність заземлення, справність і цілість кабелів живлення, місця їх підключення.

Забороняється вмикати ПК та починати роботу при виявлених несправностях.

Під час роботи, пересвідчившись у справності обладнання, увімкнути електроживлення ПК, розпочати роботу, дотримуючись умов інструкції з її експлуатації.

Забороняється:

					КРБ.КІ.1.442-03.1.7	Арк.
						103
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- замінювати різноманітні деталі або вузли та проводити перемонтаж при ввімкненому ПК;

- з'єднувати і роз'єднувати вилки та розетки первинних мереж електроживлення, які знаходяться під напругою;
- знімати кришки, які закривають доступ до струмопровідних частин мережі первинного електроживлення при ввімкненому обладнанні;
- користуватися паяльником з незаземленим корпусом;
- замінювати запобіжники під напругою;
- залишати ПК у ввімкненому стані без нагляду.

По закінченні робочого дня:

- Відключити електроживлення ПК згідно з інструкцією експлуатації, вийнявши вилку кабелю живлення з розетки;
- Впорядкувати робоче місце користувача ПК, прибравши використане обладнання та матеріали у відведені місця;
- Про виявлені недоліки у роботі ПК протягом робочого часу необхідно повідомити відповідним посадовим особам та спеціалістам.

5.4 Вимоги безпеки після закінчення роботи з ПК, та іншою технікою.

- Вимкнути комп'ютер, ноутбук, телевізор, плазмову панель, *LCD*-екран, принтер, ксерокс, сканер, колонки та іншу оргтехніку від електромережі, для чого необхідно вимкнути тумблери, а потім акуратно витягнути штепсельні вилки з розетки.
- Протерти зовнішню поверхню комп'ютера чистою вологою тканиною. При цьому не допускайте використання розчинників, одеколону, препаратів в аерозольній упаковці.
- Прибрати робоче місце. Скласти диски у відповідне місце зберігання.
- Ретельно провітрити приміщення з персональним комп'ютером та іншою оргтехнікою.

					<i>КРБ.КІ.1.442-03.1.7</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		104

5.5 Вимоги техніки безпеки в аварійних ситуаціях при роботі з ПК та іншою технікою.

- Якщо на металевих частинах обладнання виявлено напругу (відчуття струму), заземлюючий провід обірваний, необхідно вимкнути обладнання, негайно доповісти керівникові про несправності електрообладнання і без його вказівки до роботи не приступати.
- При припиненні подання електроенергії, вимкнути обладнання.
- При появі незвичного звуку, запаху паленого, мимовільного відключення комп'ютера та оргтехніки, негайно припинити роботу і поставити до відома керівника.

Висновки до п'ятого розділу

Було розглянуто правила роботи з комп'ютерами, вплив на здоров'я людини та пожежну безпеку.

Під час роботи за комп'ютером найбільшому ризику піддаються зорова, опорно-рухова, нервово-психічна системи і репродуктивна функція у жінок. Крім того, відеодисплейний термінал порушує рівновагу між позитивно і негативно зарядженими іонами в повітрі. А це означає що потрібно відпочивати від роботи за комп'ютером. При дотриманні всіх вимог і правил техніки безпеки користувач збереже своє життя і здоров'я.

					КРБ.КІ.1.442-03.1.7	Арк.
						105
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. В результаті дослідження предметної області було вивчено історію розвитку та принцип функціонування сучасної 3D графіки в сфері розробки ігор.
2. Було розглянуто реалізацію моделей зброї в різних ігрових проектах
3. Було вивчено програмне забезпечення, яке використовується для професійної роботи з 3D-графікою.
4. Розроблено пайплайн створення game-ready моделі та виконано модель за цим пайплайном.
5. Розглянуті методи та програмне забезпечення для створення низькодеталізованих та високодеталізованих моделей, обґрунтовано вибір програмного забезпечення для розробки моделі.
6. Вивчено методи та інструменти для створення анімації в Blender.
7. В ході виконання було успішно створено game-ready 3D-модель пістолета «*Springfield Echelon*», що може бути імпортована в fbx-форматі до різних ігрових проектів. Модель має UV розгортку, а також набір текстур та текстурних карт у форматі 4K – базовий колір, карти нормалей, металевості та шорсткості. Модель у дрібних деталях відтворює оригінал.
8. Також в результаті виконання роботи було створено базові демонстраційні анімації взаємодії з пістолетом, а також змонтовано невеликий демонстраційний відеоролик, де показані елементи, з яких створена модель. Також модель імпортовано до ігрового проекту на русії *Unity 3D*.
9. Проведено економічні розрахунки моделі. Створення game-ready моделей зброї є цілесообразним за рахунок популярності жанру шутерів від першої особи та відносній дешевизні розробки. Також було розроблено міні-бізнес-план організації розробки game-ready моделей.
10. Розглянуто небезпечні фактори при роботі з ПК та техніка безпеки при роботі з ПК та іншими електроприборами.

					КРБ.КІ.1.442-03.1.7	Арк.
						106
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Курс «*Handgun for Video games Tutorial*»:
<https://www.artstation.com/marketplace/p/XGGA/handgun-for-video-games-tutorial-complete-edition>
2. Хигерович Л. стаття «Раз нормально, два нормально... Або імітація об'єму на площині». <https://artstation.com/companies/ruvds/articles/685760/>
3. Кулаков В.А. Використання процедурної генерації при розробці контенту комп'ютерних ігор: <https://card-file.ontu.edu.ua/items/4371c789-40aa-40fd-8643-bcbb8e08577a>
4. В.А. Кулаков, С.В. Шестопапов// XXIII Всеукраїнська науково-технічна конференція молодих вчених, аспірантів та студентів «Стан, досягнення і перспективи інформаційних систем і технологій». Одеса, 20-21 квітня 2023р. – Одеса, Видавництво ОНТУ, 2023 р.
5. Аaddon для експорту до ZBrush: <https://github.com/JoseConseco/GoB>
6. 3D скан пістолета: <https://cults3d.com/en/3d-model/various/springfield-echelon-w-threaded-barrel-and-rds-model>
7. *Call Of Duty: Modern Warfare*: https://store.steampowered.com/app/2000950/Call_of_Duty_Modern_Warfare/
8. *Squad*: <https://store.steampowered.com/app/393380/Squad/>
9. *Insurgency: Sandstorm*:
https://store.steampowered.com/app/581320/Insurgency_Sandstorm/
10. *Ready or Not*: https://store.steampowered.com/app/1144200/Ready_or_Not/
11. Офіційний сайт *Blender*: <https://www.blender.org/>
12. Офіційний сайт *Adobe*: <https://www.adobe.com/ua/>
13. Відеохостинг: <https://www.youtube.com/>
14. Офіційний сайт *Springfield Armory*: <https://www.springfield-armory.com/>
15. Офіційна сторінка *ZBrush*: <https://www.maxon.net/en/zbrush>
16. Тараненко, Ю. І. 3D графіка та анімація в *Blender*. Львів, Видавництво Львівської політехніки, 2022.

					КРБ.КІ.1.442-03.1.7	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		107

17. Kaufman, A. E., & Mueller, K. (2019). *Principles of 3D Computer Graphics: Modeling, Rendering, and Animation*. Springer.
18. Андрій Мельник, Текстурування в *Substance Painter*: Практичне керівництво –Літера ЛТД, 2021.
19. Коваль, В. В. Основи 3D-моделювання. Київ, Кондор, 2019.
20. Мироненко В. Г. Тривимірна графіка та моделювання. Київ, Либідь, 2018.
21. Доброскок, С. В. Сучасні технології тривимірного моделювання. Київ, Ліра-К, 2023
22. *Receiver 2*: https://store.steampowered.com/app/1129310/Receiver_2/

					КРБ.КІ.1.442-03.1.7	Арк.
						108
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		