

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА і АРХІТЕКТУРИ**

Факультет геоінформаційних систем і управління територіями

Кафедра інженерної геодезії

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Дем'яненко Р.А.

« _____ » _____ 2023 року

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

на тему:

Методика виконання топографо-геодезичних робіт за допомогою
візуального ГНСС приймача

Виконав студент групи ГДм-22

193 Геодезія та землеустрій

(спеціальність)

Геодезія

(спеціалізація)

Чорний Артем Геннадійович

Керівник Медведський Ю. В.

к.т.н., доцент

Київ 2023 р.

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА і АРХІТЕКТУРИ**

Факультет геоінформаційних систем і управління територіями

Кафедра інженерної геодезії

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

на тему:

«Методика виконання топографо-геодезичних робіт за допомогою
візуального ГНСС приймача»

Чорний Артем Геннадійович

Київ 2023 р.

Київський національний університет будівництва і архітектури

Факультет геоінформаційних систем і управління територіями

Кафедра інженерної геодезії

Освітній рівень: магістр за освітньо-професійною програмою

Спеціальність: 193 - Геодезія та землеустрій

Спеціалізація: «Геодезія»

ЗАТВЕРДЖУЮ
декан факультету ГІСУТ
Нестеренко О. В.

«_____» _____ 20__ року

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

Чорний Артем Геннадійович

1. Тема роботи «Методика виконання топографо-геодезичних робіт за допомогою візуального ГНСС приймача».
затверджена наказом ректора КНУБА № 2529/2
від «24» жовтня 2023 року
2. Керівник роботи к.т.н., доцент Медведський Юрій Вікторович.
3. Строк подання студентом роботи до захисту до 06.11.2023 – 10%, до .11.2023 – 60%, до .12.2023 – 100%.
4. Зміст пояснювальної записки за розділами:
Р.1 використання даних візуального ГНСС приймача при виконанні топографо-геодезичних робіт
Р.2 Отримання даних візуального ГНСС приймача на об'єкті
Р.3 Оцінка точності топографо-геодезичних робіт, виконаних візуальним ГНСС приймачем
Р.4 Дослідження виконання топографо-геодезичних робіт візуальним ГНСС приймачем
5. Графічний матеріал за розділами
Р.1 Схеми проведення зйомок з візуального ГНСС приймача, фотоапарата та лазерного сканера.
Р.2 Три 3D моделі, оброблені з візуального ГНСС приймача, фотоапарата та лазерного сканера.

6. Календарний план виконання роботи:

Види робіт та їх зміст	Дата виконання
Розділ 1	07.11.23
Розділ 2	14.11.23
Розділ 3	21.11.23
Розділ 4	28.11.23
Остаточне оформлення роботи	06.12.23
Направлення роботи на рецензування та плагіат	06.12.23
Попередній захист роботи на кафедрі	14.12.23

7. Консультанти розділів атестаційної випускної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Перевірів	
		дата	підпис
Розділ 1	К.т.н., доцент Медведський Ю.В.	08.11.23	
Розділ 2	К.т.н., доцент Медведський Ю.В.	15.11.23	
Розділ 3	К.т.н., доцент Медведський Ю.В.	22.11.23	
Розділ 4	К.т.н., доцент Медведський Ю.В.	29.11.23	

8. Дата видачі завдання 02 жовтня 2023 року .

Зав. Кафедри _____
(підпис)

Р.А.Дем'яненко .
(прізвище та ініціали)

Керівник _____
(підпис)

Ю.В. Медведський .
(прізвище та ініціали)

Студент _____
(підпис)

А.Г. Чорний .
(прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1. ВИКОРИСТАННЯ ДАНИХ ВІЗУАЛЬНОГО ГНСС ПРИЙМАЧА ПРИ ВИКОНАННІ ТОПОГРАФО-ГЕОДЕЗИЧНИХ РОБІТ.....	8
1.1 Методи виконання топографо-геодезичних робіт.....	8
1.2 Вимоги до точності при виконанні топографо-геодезичних робіт...16	
1.3 Використання візуального ГНСС приймача для створення 3Д моделі місцевості.....	19
1.4 Потенційні проблеми та переваги візуального ГНСС приймача при виконанні геодезичних робіт.....	21
1.5 Майбутнє топографії: Топографічна карта на основі 3Д моделювання (на прикладі карти Швейцарії).....	23
РОЗДІЛ 2. ОТРИМАННЯ ДАНИХ ВІЗУАЛЬНОГО ГНСС ПРИЙМАЧА НА ОБ'ЄКТІ.....	26
2.1 Характеристика об'єкту знімання.....	26
2.2 Геодезичне забезпечення при проведенні фотозйомки з візуального ГНСС приймача.....	27
2.3 Методика виконання зйомки візуальним ГНСС приймачем.....	27
РОЗДІЛ 3. ОБРОБКА ДАНИХ ЗНІМАННЯ.....	31
3.1 Обробка даних знятих візуальним ГНСС приймачем.....	31
3.2 Обробка даних знятих лазерним сканером.....	44
3.3 Обробка даних знятих камерою.....	48
РОЗДІЛ 4. ДОСЛІДЖЕННЯ ТА АНАЛІЗ ОБРОБЛЕНИХ МОДЕЛЕЙ	51
4.1 Дослідження точності та якості моделей.....	51
ВИСНОВКИ.....	60
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	62
ДОДАТКИ.....	64

ВСТУП

В сучасному світі використання геодезичних та топографічних даних має велике значення у багатьох галузях, таких як будівництво, геологія, екологія та інженерія. Одним із ключових інструментів для отримання точних геопросторових координат є глобальна навігаційна супутникова система (ГНСС). В останні роки ГНСС приймачі стали популярними засобами для виконання топографо-геодезичних робіт, завдяки їх здатності забезпечувати високу точність та ефективність при зборі даних у польових умовах.

Дипломна робота присвячена розгляду методики виконання топографо-геодезичних робіт із використанням візуального ГНСС приймача. Акцент робиться на технологічних аспектах використання цього типу приладів, їхніх перевагах у порівнянні з іншими методами, а також на аналізі отриманих результатів. Дослідження спрямоване на вдосконалення процесів збору та обробки геодезичних даних з метою поліпшення їхньої точності та достовірності.

У цьому контексті робота розглядає не лише технічні аспекти використання візуальних ГНСС приймачів, але і важливі питання стандартизації, керування якістю та оптимізації робочих процесів. Зроблені висновки та рекомендації можуть стати корисними для фахівців у галузі геодезії та топографії, а також для виробників та розробників візуальних ГНСС технологій.

Актуальність теми полягає в новизні технології візуального ГНСС приймача

Об'єкт дослідження: методика виконання топографо-геодезичних робіт за допомогою візуального ГНСС приймача

Предмет дослідження: визначення точності виміру координат візуальним ГНСС приймачем

Метою роботи є дослідження методики виконання топографо-геодезичних робіт за допомогою візуального ГНСС приймача

Основним *завданням* даної роботи є аналіз отриманих 3Д моделей на якість отриманих матеріалів.

В якості *вихідних матеріалів* для проектування робіт взяті результати виконання лазерної зйомки по вулиці Бажана 7 за допомогою Leica Pegasus в 2020 році.

Наукова новизна отриманих результатів.

Дослідження точності та методів роботи найновішого геодезичного обладнання.

Практичне значення отриманих результатів.

Використання результатів дипломної роботи під час роботи з новітнім обладнанням – візуальним ГНСС приймачем.

GISUT
КНУСА
2023

РОЗДІЛ 1. ВИКОРИСТАННЯ ДАНИХ ВІЗУАЛЬНОГО ГНСС ПРИЙМАЧА ПРИ ВИКОНАННІ ТОПОГРАФО-ГЕОДЕЗИЧНИХ РОБІТ

1.1 Методи виконання топографо-геодезичних робіт

В сучасній геодезії існує ряд методів для виконання топографо-геодезичних робіт, кожен з яких має свої особливості та переваги в залежності від конкретних завдань та умов виконання. У цьому розділі ми розглянемо деякі з основних методів, які застосовуються в даній галузі:

Класичні топографо-геодезичні методи:

Тригонометрія — це розділ математики, який вивчає співвідношення між сторонами й кутами трикутників. На основі тригонометричних формул геодезисти можуть проводити обчислення кутів або відстаней. Горизонтальні та вертикальні кути між пунктами вимірюються за допомогою тахеометрів.

Нівелювання – це сукупність геодезичних вимірювань, які виконуються для визначення різниці висот точок земної поверхні – перевищень, а також висот точок відносно прийнятої вихідної відлікової поверхні. Нівелювання необхідне для створення висотної основи топографічних зніманих, для вивчення форм рельєфу і визначення різниці висот точок при топографічних зніманнях, проектуванні, будівництві і експлуатації різних споруд. Результати нівелювання мають важливе значення при розв’язанні наукових та практичних задач геодезії. [1]

Для визначення перевищень застосовують геометричне, тригонометричне, барометричне і гідростатичне нівелювання.

ГНСС методи:

GNSS представляє собою систему супутникової навігації, створену з метою позиціонування (визначення місця розташування в просторі – тобто координат) об’єктів. Окрім визначення місця розташування об’єкта сучасні навігаційні системи дозволяють визначити напрямок його руху і швидкість. На даний час близько 200 організацій, що займаються збором GNSS даних з

базових станцій по всьому світу, об'єднані в IGS (International GNSS Service), яка, в свою чергу, входить до Міжнародної асоціації геодезії.

GNSS системи складаються з двох складових: космічної та наземної. Якщо не вдаватися в подробиці, то принцип роботи таких систем полягає у вимірюванні відстані від антени на об'єкті до супутників. Знаючи відстані до декількох супутників, положення яких відомо достатньо точно, навігаційні системи за допомогою звичайних геометричних побудов обчислюють місцезнаходження об'єкта.

З метою підвищення точності позиціонування з декількох метрів до сантиметрів у багатьох країнах створюються наземні системи радіомаяків, а також інформаційна радіосистема для передачі користувачам диференціальних поправок, що дозволяють значно підвищити точність визначення координат. Диференціальна поправка пересилається або з геостаціонарних супутників (системи WAAS, EGNOS, MSAS і ін.), або з наземних базових станцій.

Найбільша точність досягається при використанні RTK-поправок саме з наземних базових станцій. При використанні RTK-поправок стали можливими: виключення грубих помилок вихідних пунктів; підтримка єдиної міжнародної системи координат; можливість безпосередньої роботи в будь-якій необхідній системі координат; скорочення витрат на обладнання; контроль точності безпосередньо під час виконання вимірювань; збільшення продуктивності праці. [2-6]

Лазерне сканування та зйомка з дронів:

Слідом за сучасними комп'ютерними програмами та електронними геодезичними приладами приходять інноваційні методи дослідження територій. Один з таких нових способів отримувати більш точні і докладні дані при проведенні геодезичних робіт - це лазерне сканування. З його допомогою можна віддалено вести зйомку певних об'єктів або територій в тривимірній площині. Основна мета цієї процедури - подальше створення тривимірних моделей об'єктів і ділянок, які знімаються, з усіма подробицями.

Для проведення 3D сканування об'єктів використовуються спеціальні прилади - лазерні сканери. З їх допомогою можна отримувати координати точок, які передають детальну інформацію про конкретну місцевість або на певному елементі. Лазерним далекоміром проводяться вимірювальні процедури до всіх ключових точок досліджуваного елемента. Сканером дуже легко управляти за допомогою портативного комп'ютера, що значно спрощує процес роботи з ним. При цьому всі відомості фіксуються у режимі реального часу - фіксація сигналу йде одночасно з його одержанням.

Тривимірна площина дозволяє визначати точку не по двох координатах, а трьох. Це значно підвищує точність відомостей. Дані, які отримані за допомогою лазерного 3D сканера можна використовувати в будь-якій графічній програмі.

Є ряд об'єктів, на яких лазерне сканування значно полегшує і прискорює роботу, в першу чергу - це важкодоступні місця на об'єктах, небезпечні ділянки, роботу яких треба контролювати і моніторити. За допомогою лазерного сканування можна створювати тривимірні моделі цього складного для вивчення обладнання. А також на основі даних сканування складати необхідну документацію для цих приладів та їх елементів.

Використання 3D сканера доцільно в таких галузях, як важка промисловість, нафтогазова галузь та інші подібні напрямки. У цьому випадку за допомогою тривимірного сканування можна досліджувати родовища сировини, а також розташування і стан трубопроводів. Лазерне сканування нагоді і в разі проектування будівництва, реконструкції або капітального ремонту.

Інженерні конструкції - ще один напрямок, який охоплює сканування 3д. З його допомогою можна контролювати будівельний процес, вносити корективи в проектну документацію, а також здійснювати моніторинг у ході експлуатації інженерних систем.

Сканування доріг доречно при укладанні нового дорожнього полотна та інших роботах на цих об'єктах.

За допомогою лазерного сканування можна не тільки скласти топографічні плани територій різних масштабів, але також і цифрові тривимірні моделі об'єктів або місцевості, її рельєфу.

Цей метод дослідження має ряд переваг. В першу чергу - це оперативність. Це найшвидший спосіб отримати повний набір інформації. Однак тут є і деякі труднощі. Наприклад, коли мова йде не про наземне лазерне сканування, а про повітряне, то процес може затягнутися через потреби в отриманні дозволів на зйомки з повітря. І, звичайно ж, головною проблемою, яка перешкоджає масовому застосуванню 3D сканера у геодезії - це його висока вартість і наявність в штаті фахівців, які працюють у цьому напрямку.

Дрони здатні знімати аерофотознімки та відео високої роздільної здатності з неймовірним рівнем деталізації. Крім того, дрони також можуть збирати різні типи даних, як-от висота, топографія та картографування рослинності. Ці дані можуть бути використані для створення 3D-моделей досліджуваної території, що дозволяє користувачам краще зрозуміти рельєф.

Використання дронів також забезпечує набагато безпечнішу та швидшу альтернативу традиційним методам зйомки. Використовуючи дрони, геодезисти можуть збирати дані, не ризикуючи своїм життям у небезпечних умовах. Крім того, дрони можуть охоплювати великі території за набагато коротший проміжок часу, ніж традиційні методи, що дозволяє геодезістам виконувати проекти швидше та ефективніше.

Використання дронів у геодезичних і картографічних програмах також може бути використано для моніторингу та відстеження будівельних проектів. Використовуючи картографування за допомогою дронів, геодезисти можуть відстежувати прогрес і гарантувати, що проект виконується за графіком.

Використання дронів для геодезичних і картографічних проектів швидко стає галузевим стандартом, пропонуючи безпрецедентну точність, точність і безпеку.

Безпілотники пропонують кілька переваг над традиційними методами зйомки та картографування. Однією з ключових переваг є можливість

отримувати дані з важкодоступних місць. Наприклад, безпілотні літальні апарати можна легко розгорнути в районах із небезпечним рельєфом або у віддалених місцях, доступ до яких може бути важким або небезпечним для людей. Крім того, дрони пропонують більший рівень точності та деталізації, ніж традиційні методи зйомки. Використовуючи камери з високою роздільною здатністю та складне програмне забезпечення, дрони можуть забезпечити точні вимірювання та детальні 3D-моделі об'єкта проекту.

Безпека є ще однією важливою перевагою використання дронів для геодезичних і картографічних проектів. Позбавляючи людей від необхідності входити в небезпечне середовище або підніматися на високі споруди, дрони можуть зменшити ризик нещасних випадків і травм.

Економія коштів, пов'язана з використанням дронів для геодезичних і картографічних проектів, також є значною. Дрони здатні збирати дані набагато швидше, ніж традиційні методи зйомки, що значно скорочує трудовитрати та час проекту.

Загалом використання безпілотних літальних апаратів для геодезичних і картографічних проектів швидко стає галузевим стандартом, пропонуючи ряд переваг, які роблять його ідеальним вибором для багатьох проектів.

Використання дронів у геодезичних і картографічних проектах зростає, пропонуючи економічно ефективний спосіб збору даних. Однак існують певні ризики, пов'язані з використанням технології дронів, які слід враховувати перед початком будь-якого проекту.

По-перше, робота дронів має відповідати всім відповідним нормам і законам. Вони можуть включати обмеження польотів, траєкторії польотів та інші експлуатаційні правила. Порушення цих правил може призвести до великих штрафів та інших санкцій. Крім того, оператори дронів повинні знати про будь-які місцеві чи державні постанови щодо шуму, оскільки деякі дрони можуть бути досить гучними.

По-друге, як і з будь-яким видом техніки, завжди існує ризик механічної несправності. Це може призвести до втрати цінних даних або необхідності

дорогого ремонту. Важливо, щоб користувачі технологій безпілотників розуміли вимоги до обслуговування свого обладнання та завжди перевіряли будь-які попереджувальні знаки перед кожним польотом.

По-третє, існує ризик витоку даних. Усі дані, зібрані безпілотними літальними апаратами, повинні надійно зберігатися та мати доступ до них лише авторизований персонал. Цього можна досягти за допомогою шифрування та інших заходів безпеки.

Нарешті, як і в будь-якій іншій операції, завжди існує ризик людської помилки. Важливо, щоб оператори технології безпілотних літальних апаратів розуміли всі функції та можливості свого обладнання та вживали необхідних заходів, щоб переконатися, що вони використовують його безпечно та належним чином.

Рішення для геодезії та картографування на основі дронів стають все більш популярними для різноманітних застосувань. Завдяки прогресу в технології та програмному забезпеченні дронів точність і точність цих картографічних рішень стали надійнішими, ніж будь-коли.

Останні дослідження показали, що картографічні рішення на основі дронів можуть забезпечити високий ступінь точності. БПЛА (безпілотні літальні апарати), оснащені вдосконаленими датчиками, здатні створювати детальні точні карти складної місцевості лише за кілька польотів. Ці карти можна використовувати для різноманітних завдань, таких як геодезія, управління активами та будівництво.

Точність рішення для картографування на основі дронів залежить від низки факторів, зокрема від датчиків дрона, використовуваної камери та програмного забезпечення, яке використовується для обробки даних. Високоякісні камери та датчики дозволяють дронам знімати більше деталей, а потужне програмне забезпечення може обробляти дані для створення точних карт.

Крім того, на точність картографічного рішення на основі дрона також впливає середовище, в якому воно використовується. БПЛА здатні літати на

різних рельєфах, але вони можуть бути не такими точними під час польотів у густих лісах або в районах із сильним впливом навколишнього середовища.

Загалом картографічні рішення за допомогою дронів стають все більш надійними та точними. За допомогою відповідного обладнання та програмного забезпечення ці рішення можуть надавати докладні точні карти з високим ступенем точності. Точність цих рішень лише покращуватиметься разом із розвитком технологій і програмного забезпечення.

Кожен з цих методів має свої переваги та обмеження, і вибір конкретного методу залежить від характеру роботи, точності, ефективності та ресурсів, які доступні для виконання топографо-геодезичних завдань.[7]

Сьогодні геодезисти можуть вибирати з багатого інструментарію різних технологій вимірювання. Їх можна розділити на чотири категорії (Рис.1.1):

Отримання поодиноких точок: тахеометр і приймач GNSS є основними пристроями для визначення поодиноких точок, що означає, що кожна точка є об'єктом вимірювання. Віхи для GNSS-антен і відбивачів із вбудованими інерціальними вимірювальними блоками (IMU) позбавляють необхідності встановлювати віху по рівню, вертикально. Ця функція дозволяє не тільки вимірювати недоступні точки, але також забезпечує підвищену точність і швидкість процесу вимірювання.

Отримання хмар точок: лазерні сканери вперше з'явилися на ринку 25 років тому. Вони створюють цілі хмари точок за дуже короткий проміжок часу. Хоча поодинокі точки не мають конкретного значення, підмножини хмари точок представляють собою геометричні елементи, такі як площини, сфери та циліндри. Лазерні сканери, які сьогодні часто поєднуються з цифровими камерами, мають неперевершену продуктивність і універсальність у підкатегоріях стаціонарного, мобільного, безпілотного та автономного лазерного сканування. Висока швидкість вимірювання (один мільйон точок на секунду) відкрила абсолютно нові сфери застосування, де традиційні методи були б неспроможні через технологічні та економічні обмеження.

Використання нових технологій: нещодавно з'явилися нові технології вимірювання, включаючи георадари (GPR), радіолокаційну інтерферометрію (RI) і волоконно-оптичні вимірювання деформаційних процесів (FODM). Дві останні технології зосереджені на виявленні невеликих змін в об'єктах (аналіз деформації) шляхом повторюваних вимірювань. (AI)Штучний Інтелект додає нових можливостей до аналізу та класифікації отриманих даних.

Використання вільно доступних даних дистанційного зондування: високоякісні, оновлені набори даних дистанційного зондування тепер доступні кожному безкоштовно, наприклад, через служби Copernicus відповідно до стратегії відкритого коду Європейського Союзу. Однак для цих наборів даних потрібне адаптоване програмне забезпечення для аналізу (великі дані та ШІ), оскільки найменший набір даних, який можна завантажити, може становити близько 1,6 ГБ. [8-12]

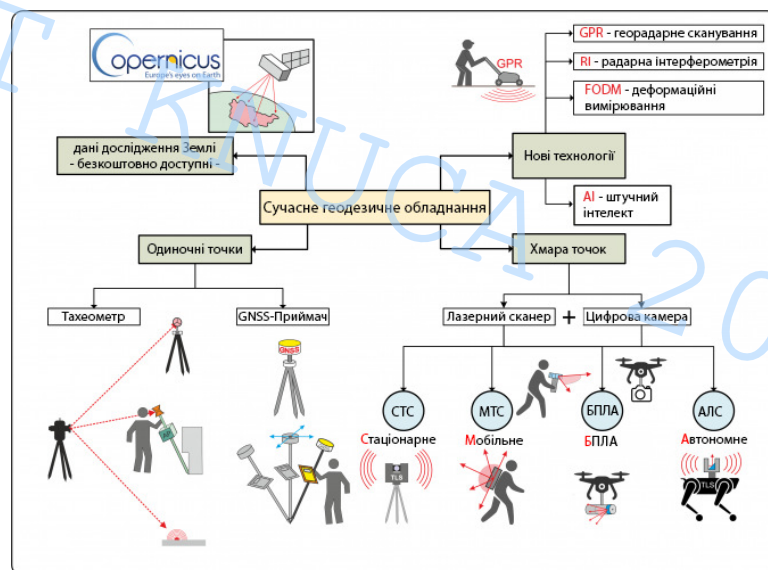


Рис. 1.1 Сучасне геодезичне обладнання

1.2. Вимоги до точності при виконанні топографо-геодезичних робіт

Вимоги до точності при виконанні топографо-геодезичних робіт визначаються залежно від конкретного завдання, його призначення та вимог замовника. Точність геодезичних вимірювань важлива для забезпечення вірогідних та надійних результатів, які можуть використовуватися в різних галузях, таких як будівництво, проектування інфраструктури, геологічні дослідження, картографія та інші.

Вимоги до горизонтальної та вертикальної точності при виконанні топографо-геодезичних робіт вказано в інструкції з топографічного знімання. Середні помилки в положенні на плані предметів та контурів місцевості з чіткими обрисами відносно найближчих точок знімальної основи не повинні перевищувати 0,5 мм, а в гірських та лісових районах - 0,7 мм. На територіях з капітальною і багатоповерховою забудовою середні помилки у взаємному положенні на плані точок найближчих контурів (капітальних споруд, будинків і т.ін.) не повинні перевищувати 0,4 мм. Для переходу від середніх помилок (дельта) до середніх квадратичних помилок (m) застосовується коефіцієнт 1,25, тобто $m=1,25\Delta$.

При створенні топографічних планів, як виняток, дозволяється зменшувати графічну точність плану. У таких випадках, які обґрунтовуються в технічному проекті (програмі), топографічні плани допускається створювати з точністю планів суміжного, більш дрібного масштабу. Наприклад, плани масштабу 1:5000 можуть бути створені з точністю масштабу 1:10000, а плани масштабу 1:2000 - з точністю масштабу 1:5000 і т.ін. У таких випадках на планах за східною рамкою обов'язково вказується методика їх створення (знімання на збільшених фотопланах, фотомеханічне збільшення планів і т.ін.) і точність знімання.

Середні помилки знімання рельєфу відносно найближчих точок геодезичної основи не повинні перевищувати за висотою:

- 1/4 прийнятої висоти перерізу рельєфу при кутах нахилу до

2 град.;

- 1/3 при кутах нахилу від 2 град. до 6 град. для планів масштабів 1:5000, 1:2000 та до 10 град. для планів масштабів 1:1000 та 1:500;

- 1/3 при перерізі рельєфу через 0,5 м на планах масштабів 1:5000 та 1:2000.

У лісовій місцевості ці допуски збільшуються в 1,5 раза. У районах з кутами нахилу понад 6 град. для планів масштабів 1:5000 та 1:2000 та більше 10 град. для планів масштабів 1:1000 та 1:500 кількість горизонталей повинна відповідати різниці висот, що визначена на перегінах схилів, а середні помилки висот, які визначено на характерних точках рельєфу, не повинні перевищувати 1/3 прийнятої висоти перерізу рельєфу.

Точність планів оцінюється за розходженням положення контурів та висот точок, що обчислені по горизонталях, з даними контрольних вимірів.

Граничні розходження не повинні перевищувати подвоєних значень допустимих середніх помилок і їх кількість не повинна бути понад 10% від загальної кількості контрольних вимірів. Ці результати враховуються при підрахунку середньої помилки. Окремі результати контрольних вимірів можуть перевищувати подвоєну середню помилку, при цьому їх кількість не повинна бути більше 5% від загальної кількості контрольних вимірів, і їх слід виправляти.

Загальні вимоги:

Залежно від конкретного завдання, вимоги до *горизонтальної точності* можуть становити від кількох міліметрів до декількох сантиметрів. Вимоги до точності вимірювань висот зазвичай становлять від декількох міліметрів до декількох сантиметрів, залежно від потреби.

Вимоги до конкретних задач:

Для *будівельних проектів*, де важлива точність фундаментальних вимірювань, можуть застосовуватися вимоги до точності на рівні міліметрів. Для *дорожніх, залізничних та інших транспортних проектів*, точність може бути меншою, але все одно дуже важливою, зазвичай у діапазоні від декількох міліметрів до сантиметрів. В залежності від потреб дослідження, *точність для геологічних та геологічних досліджень* може варіюватися від кількох сантиметрів до метрів.

Вимоги до класів точності ГНСС:

Стандартна точність до 1 метра (зазвичай використовується для простих картографічних та навігаційних завдань).

Висока точність до 1 сантиметра (застосовується у вимагаючих наукових, будівельних та геодезичних застосуваннях).

Широкомасштабна точність до 2-5 сантиметрів (використовується для широкомасштабних інженерних та геодезичних проектів).

Вимоги до точності при інших методах:

Точність лазерного сканування зазвичай від декількох міліметрів до сантиметрів в залежності від вимог завдання. Вимоги до *дронових зйомок* можуть варіюватися від декількох сантиметрів до метрів залежно від характеру проекту.

Таблиця 1.1 Вимоги до точності

Вимоги до точності		
Загальні		
Горизонтальна	Вертикальна	
до 3 см	до 3 см	
Конкретні задачі		
Будівельні роботи	Транспортні проекти	Екологічні та геологічні дослідження
до 1 см	до 3 см	до 2 м
Класи точності ГНСС		
Стандартна	Висока	Широкомасштабна
до 1 м	до 1 см	до 5 см
Лазерне сканування		
до 3 см		
Зйомки дроном		
до 2 м		

Визначення точності є ключовим етапом в плануванні та виконанні геодезичних робіт, і вона повинна бути чітко визначена у вимогах до проекту або завдання. [13-16]

1.3 Використання візуального ГНСС приймача для створення 3D моделі місцевості

Візуальні ГНСС приймачі виявляються вельми корисними для створення тривимірних моделей місцевості завдяки їхній здатності об'єднувати геодезичні координати з візуальною інформацією, зокрема, зображеннями з камери або сенсорів. Цей підхід, часто відомий як фотограмметрія, дозволяє отримувати точні і деталізовані 3D моделі території. Ось кілька кроків, які можна виконати:

Збір геодезичних даних: перед початком збору даних треба встановити візуальний ГНСС приймач на місцевості. Це може бути, наприклад, спеціалізована камера або дрон із відповідними ГНСС-системами.

На етапі зйомки фотографій виконуємо *проектування маршруту* враховуючи необхідну покритість та деталізацію моделі. Використовуючи візуальний ГНСС приймач, здійснюємо зйомку фотографій з різних ракурсів та висот.

Далі йде фотограмметрична обробка. Використовуючи спеціалізовані програми для фотограмметричної обробки, сполучаємо геодезичні дані з фотографіями для створення 3D моделі. Програми для фотограмметричної обробки автоматично визначають точки спільності на фотографіях та використовують їх для триангуляції та відтворення поверхні.

За необхідності можна відредагувати та додати деталі до 3D моделі. Деякі програми дозволяють додавати текстури, редагувати форму та вдосконалювати зовнішній вигляд.

Використання візуального ГНСС приймача для створення 3D моделі місцевості дозволяє отримувати високоточні та деталізовані результати, що може бути важливим для багатьох галузей, таких як архітектура, інженерія та природоохоронні дослідження. [17]

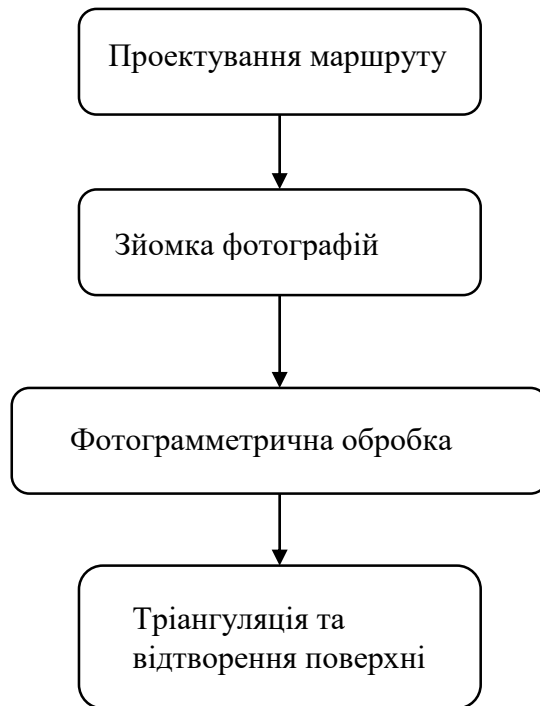


Рисунок 1.2 Блок схема «Порядок роботи при використанні візуального ГНСС приймача»

1.4 Потенційні проблеми та переваги візуального ГНСС приймача при виконанні геодезичних робіт

Потенційні проблеми використання візуального ГНСС приймача:

Вплив погодних умов - погана видимість чи атмосферні умови можуть вплинути на точність зчитування ГНСС приймача та якість отриманих фотографій.

Обмеження в просторовій точності - візуальні ГНСС приймачі можуть бути менш точними у порівнянні з іншими спеціалізованими ГНСС приймачами, зокрема у вузьких або високих гірських долинах.

Зміщення під час руху - під час руху може виникати зміщення або розмиття зображень, що впливає на точність фотограмметричної обробки.

Потреба в додаткових джерелах живлення - деякі візуальні ГНСС приймачі можуть вимагати додаткових джерел живлення, що може бути проблематично в деяких умовах.

Переваги використання візуального ГНСС приймача:

Інтеграція з візуальними даними - можливість об'єднувати геодезичні координати з візуальною інформацією (зображеннями) для створення деталізованих 3D моделей.

Гнучкість та мобільність - зручність використання в рухливих умовах, таких як при використанні дронів або на місцях, недоступних для стаціонарних приладів.

Ефективність при Зборі Даних - швидкість та ефективність збору геодезичних даних, оскільки можна використовувати великий обсяг інформації з візуальних джерел.

Відносно низька вартість - порівняно доступність та низька вартість порівняно з іншими дорогими геодезичними приладами.

Таблиця 1.2 Переваги та недоліки візуального ГНСС приймача

Переваги та недоліки візуального ГНСС приймача	
+	-
Інтеграція з візуальними даними	Вплив погодних умов
Гнучкість та мобільність	Обмеження в просторовій точності
Ефективність	Зміщення під час руху
Вартість	Потреба в додаткових джерелах живлення

Інтеграція візуальних ГНСС приймачів у геодезичні роботи може бути дуже ефективною, особливо там, де потрібна точність у поєднанні з візуальною інформацією для отримання деталізованих та точних геопросторових даних.

1.5 Майбутнє топографії: Топографічна карта на основі 3D моделювання (на прикладі карти Швейцарії)

Топографія, яка традиційно визначалася як наука про зображення земної поверхні, переживає перетворення в еру цифрової технології та тривимірного моделювання. Сучасні можливості візуальних ГНСС приймачів, лазерного сканування, дронів та високоточних супутникових систем дозволяють створювати більш точні та деталізовані топографічні карти. Давайте розглянемо як майбутнє топографії може виглядати:

1. **Збільшена точність та деталізація.** Використання дронів дозволяє отримувати вищу точність геодезичних даних та деталізацію в труднодоступних або гірських регіонах.
2. **Інтерактивні та адаптивні карти.** Розробка інтерактивних та адаптивних веб-карт, які можуть взаємодіяти з користувачами та надавати змогу змінювати вид та шари інформації згідно з потребами.
3. **Топографія в реальному часі.** Використання реально-часних даних для надання актуальної інформації про зміни у ландшафті.
4. **Використання штучного інтелекту.** Застосування штучного інтелекту для аналізу геодезичних даних, автоматичної ідентифікації об'єктів та покращення точності та швидкості обробки інформації.
5. **Використання розширеної реальності (AR) та віртуальної реальності (VR).** Інтеграція топографічних даних у розширену реальність та віртуальну реальність для створення іммерсивних та високоінтерактивних досліджень.
6. **Глобальна інтеграція даних.** Синхронізація топографічних даних з різних джерел, таких як супутникові знімки, лазерне сканування і т.п., для отримання повної та універсальної карти.
7. **3D моделі з деталізованими об'єктами.** Створення 3D моделей території з деталізованими об'єктами, такими як будівлі, дерева та інші

елементи, що забезпечує більш повну та реалістичну представленість ландшафту.

Саме з цього пункту виходила Швейцарія коли створювала 3D карту своєї території. Пролетіть над Альпами, неквапливо прогуляйтеся по Банхофштрассе в Цюріху або огляньте круті переходи для наступного походу. Завдяки 3D-режиму в Швейцарському федеральному переглядачі карт ви можете вивчити безкоштовну онлайн-тривимірну цифрову модель Швейцарії. У ньому є всі будівлі і безліч інших об'єктів. Швейцарія є однією з перших країн, що володіють докладною 3D-моделлю будівель, що охоплює всю країну. Ця цифрова модель Швейцарії складається з близько 70 мільйонів 3D-об'єктів. Крім кожної окремої будівлі в Швейцарії та Князівстві Ліхтенштейн, - мости, канатні дороги, ліси, окремі дерева та топоніми також представлені в 3D. [18-19]

Базовими даними для вилучення та моделювання будівель служать аерофотознімки digital ADS. На основі цих зображень дахи витягуються вручну в 3D за допомогою фотограмметричного методу цифрової кореляції зображень, доповненого додатковою інформацією. Потім в автоматизованому процесі створюються відповідні контури і фасади. Приклади карти показані на рисунках 1.2-1.3



Рисунок 1.3 Залізничний вокзал Цюріх головний на 3D мапі

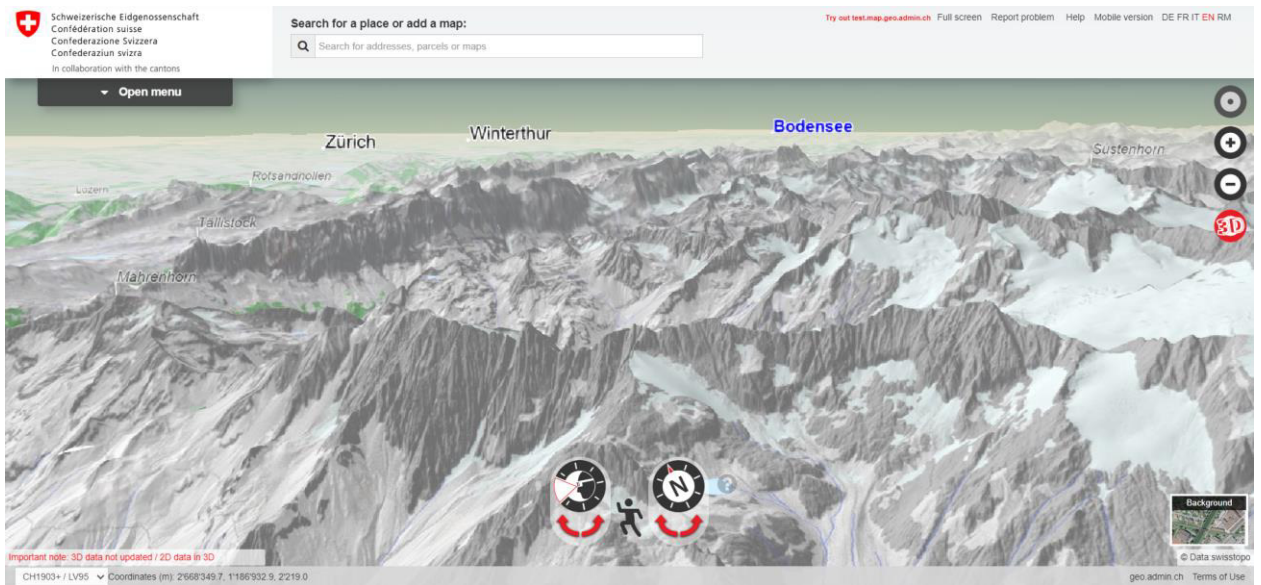


Рисунок 1.4 гори Альпи на 3Д мапі

GISUT KNUCA 2023

РОЗДІЛ 2. ОТРИМАННЯ ДАНИХ ВІЗУАЛЬНОГО ГНСС ПРИЙМАЧА НА ОБ'ЄКТІ

2.1 Характеристика об'єкту знімання

Об'єкт для дипломної роботи був обраний з проекту по створенню ортофотоплану Дарницького району міста Київ за допомогою лазерного сканера Leica Pegasus, вихідні дані у вигляді хмари точок показані на рисунку 2.1



Рисунок 2.1 Хмара точок з лазерного сканера Leica Pegasus

Ця територія знаходиться за адресою м. Київ, вул. Бажана 7. Вона була обрана через декілька факторів, ось деякі з них:

- 1) Є декілька проходів, один між домами, та ще декілька в самому домі, з них можна дослідити якість та точність 3Д моделей
- 2) Мурал балерини на домі також може служити показником якості моделі
- 3) Наявність рослинності, як предмет порівняння

2.2 Геодезичне забезпечення при проведенні фотозйомки з візуального ГНСС приймача

Під час розроблення дипломного проекту на об'єкті виконано комплекс топографо-геодезичних робіт за допомогою GPS-знімання методом RTK (англ. RealTimeKinematic — кінематика в реальному часі).

Знімання точок та візуальна зйомка була виконана за допомогою ГНСС приймача Hi-Target vRTK, який отримував коригуючі поправки від базової станції (м. Київ)

Доступ до серверу мережі здійснювався через мобільний інтернет-зв'язок. Оператор послуг мобільного зв'язку: ТОВ «лайфселл». Інтернет-адреса серверу мережі: gnss.org.ua порт: 2126. Поправки від мережі передавались у стандартизованому форматі RTCM v3.x.

2.3 Методика виконання зйомки візуальним ГНСС приймачем

Фотозйомка була проведена з візуального ГНСС приймача. Дата проведення зйомки – 05 жовтня 2023 року.

Було зроблено 17 проходів з візуальним ГНСС приймачем (Рисунок 2.2). В результаті цих проходів було отримано 2429 фотографій, кожна з цих фотографій мала точку контролю (Ground Control Points – GCPs) визначену за допомогою метода розрахунку поправок RTK.

Також для розробки 3Д моделі звичайним фотограмметричним способом були визначені координати і висоти 57 розпізнавальних знаків ГНСС приймачем Hi-Target vRTK (Рисунок 2.3).

Каталог координат вимірних точок наведено в таблиці 2.1

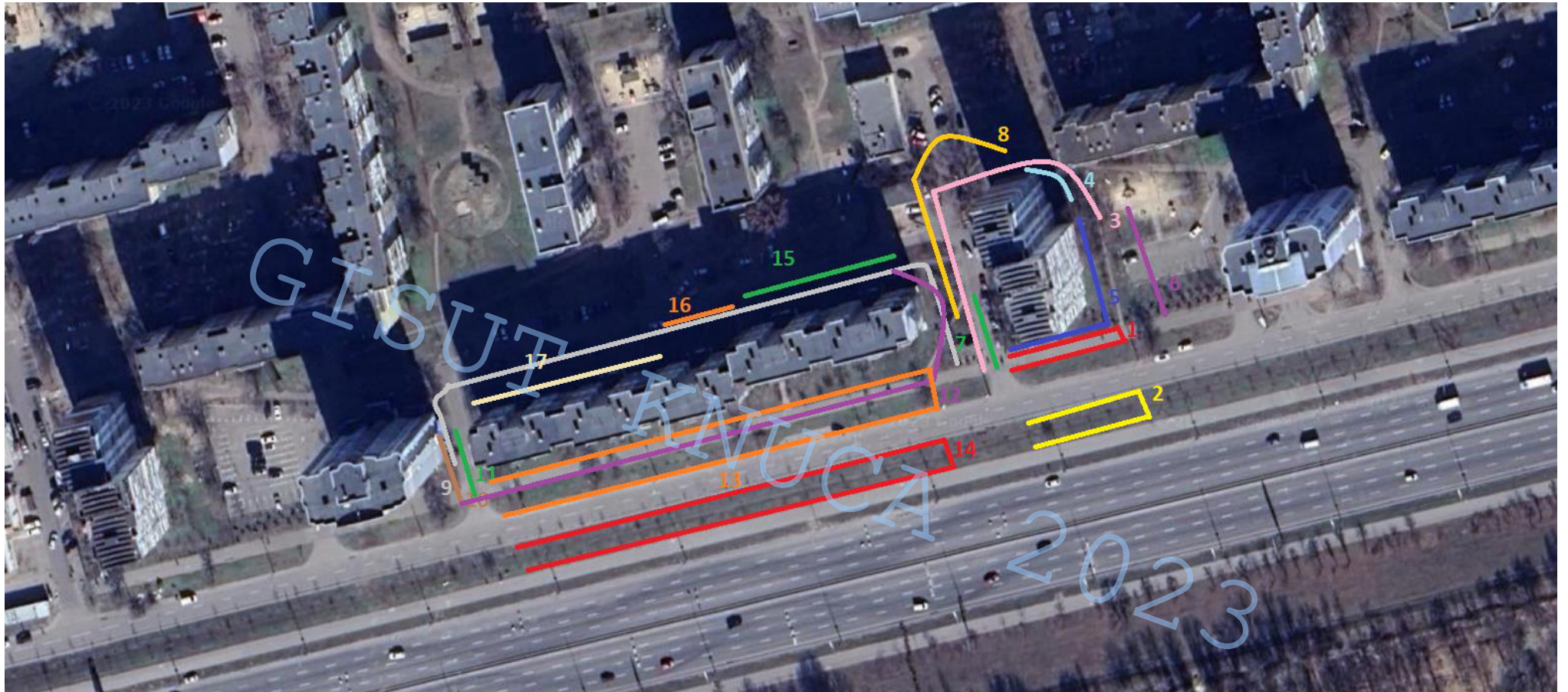


Рисунок 1.2 Проходи візуальним ГНСС приймачем

Таблиця 2.1 Журнал виконання GPS зйомки

номер точки	X, м	Y, м	H, м	Рішення
1	5588393.4628	6333770.5919	98.9556	Fix
2	5588393.8772	6333769.4174	98.9121	Fix
3	5588390.5140	6333770.2432	98.8821	Fix
4	5588410.3845	6333773.0163	100.5229	Fix
5	5588408.4972	6333773.4485	99.9235	Fix
6	5588401.3407	6333774.8170	100.4766	Fix
7	5588398.1193	6333776.8359	100.2324	Fix
8	5588395.3390	6333799.5085	98.7156	Fix
9	5588391.7748	6333797.4478	98.6788	Fix
10	5588389.1126	6333794.9387	98.7112	Fix
11	5588389.9682	6333789.7789	98.7198	Fix
12	5588387.9489	6333785.4686	98.7895	Fix
13	5588387.6936	6333779.6752	98.8014	Fix
14	5588384.5617	6333775.8636	98.7870	Fix
15	5588375.2373	6333771.5235	98.7789	Fix
16	5588375.8841	6333775.7651	98.7969	Fix
17	5588376.5496	6333778.9432	98.7869	Fix
18	5588377.1665	6333781.8531	98.7729	Fix
19	5588377.8343	6333784.9467	98.7316	Fix
20	5588378.3672	6333787.4143	98.7150	Fix
21	5588379.2297	6333791.4212	98.6948	Fix
22	5588379.7969	6333794.0423	98.6622	Fix
23	5588380.4746	6333797.3074	98.6645	Fix
24	5588381.1713	6333800.5911	98.6700	Fix
25	5588381.6369	6333802.8367	98.6441	Fix
26	5588408.5271	6333758.0205	99.1294	Fix
27	5588400.2997	6333759.8967	99.0979	Fix
28	5588393.7283	6333761.2976	99.0661	Fix
29	5588381.2623	6333764.1571	98.8745	Fix
30	5588377.1380	6333766.7489	98.8292	Fix
31	5588384.3980	6333764.1273	98.8659	Fix
32	5588411.5522	6333757.9326	99.1132	Fix
33	5588414.2745	6333758.4373	99.3145	Fix
34	5588420.4242	6333762.3777	99.2151	Fix
35	5588422.9782	6333755.9986	98.9994	Fix
36	5588440.7583	6333752.6046	98.8324	Fix
37	5588446.7879	6333753.5163	98.5923	Fix
38	5588449.6417	6333764.0264	98.4528	Fix
39	5588449.6957	6333773.6167	98.5551	Fix
40	5588421.3961	6333794.3745	98.7821	Fix
41	5588438.8739	6333791.0823	97.4621	Fix
42	5588440.6842	6333775.3350	99.8729	Fix
43	5588375.1838	6333810.2807	98.7893	Fix
44	5588375.5297	6333809.7053	98.7455	Fix
45	5588374.9300	6333806.9264	98.7822	Fix
46	5588374.2500	6333803.7597	98.7800	Fix
47	5588373.5023	6333800.1948	98.7998	Fix
48	5588372.8899	6333797.2555	98.8135	Fix
49	5588372.1271	6333793.6014	98.8344	Fix
50	5588371.3784	6333790.0440	98.8438	Fix
51	5588370.6515	6333786.5563	98.8582	Fix
52	5588369.8392	6333782.6656	98.8685	Fix
53	5588368.9595	6333778.5403	98.8782	Fix
54	5588368.2158	6333774.9401	98.8830	Fix
55	5588367.3315	6333770.7519	98.8917	Fix
56	5588366.5617	6333767.1469	98.9337	Fix
57	5588365.8349	6333766.4733	98.9475	Fix



Рис. 2.3 Процес отримання координат контрольних точок ГНСС-методом

РОЗДІЛ 3. ОБРОБКА ДАНИХ ЗНІМАННЯ

3.1 Обробка даних знятих візуальним ГНСС приймачем

Обробка даних знятих візуальним ГНСС приймачем була зроблена за допомогою програмного забезпечення Agisoft Metashape. У програмі Agisoft Metashape реалізована сучасна технологія створення тривимірних моделей високої якості на основі цифрових фотографій. Для реконструкції 3D моделі об'єкта Agisoft Metashape дозволяє використовувати фотографії, зняті будь-якими цифровими фотокамерами з будь-яких ракурсів (за умови, що кожен елемент реконструйованої сцени видно принаймні з двох позицій знімання). Процес створення тривимірної моделі повністю автоматизований. Основні завдання, що вирішуються користувачами за допомогою програми Metashape - відновлення 3D поверхні, побудова ортофотоплана і ЦММ. Робота з проектом здійснюється в чотири етапи:

- Визначення параметрів зовнішнього і внутрішнього орієнтування камер.
- Побудова щільної хмари точок.
- Побудова тривимірної поверхні: полігональної моделі і карти висот
- Побудова текстури для полігональної моделі (якщо вона була побудована), а також побудова ортофотоплана

Розглянемо ці етапи в роботі.

3.1.1 Визначення параметрів зовнішнього і внутрішнього орієнтування камер

На першому етапі Metashape знаходить загальні точки фотографій і по ним визначає всі параметри камер: положення, орієнтацію, внутрішню геометрію (фокусна відстань, параметри дисторсії і т.п.). Результатами є розріджена хмара спільних точок у 3D просторі моделі і дані про положення і орієнтації камер. [20]

З 2429 фотографій програма автоматично вирівняла 2117 (87,2 %). Більшість з невіривняних знімків мали густу рослинність, тому програма не знайшла точки зв'язку. Приклади невіривняних фотографій можна побачити в Додатку А.

Особливістю візуального ГНСС приймача є те що знімки, зняті з цього пристрою, вже мають координати з точністю до 3 мм, тому перед тим як почати процес вирівнювання знімків треба загрузити прив'язку. В результаті отримаємо точне положення фотографій на місцевості (див. Рис. 3.1)

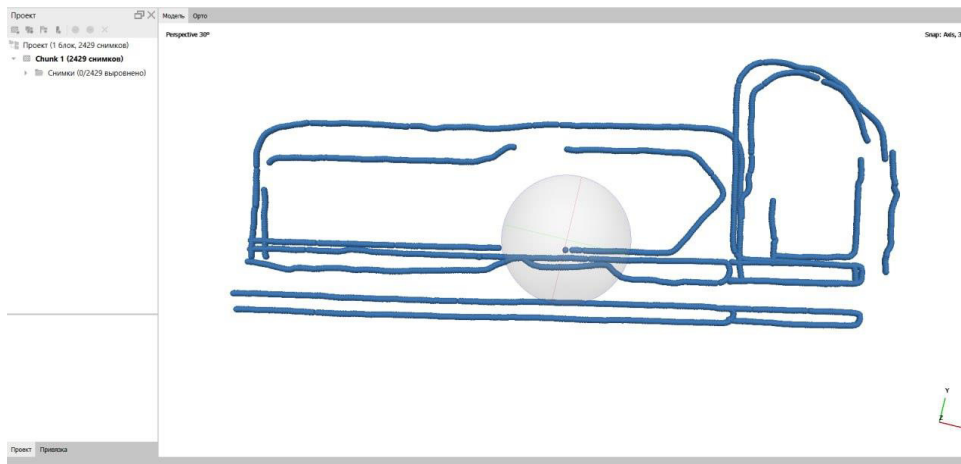


Рисунок 3.1 Положення камер

Після додавання прив'язки вирівнюємо знімки. В результаті вирівнювання було створено розріджену хмару точок з 133 395 тисяч точок. Всі властивості вирівнювання дивіться в Рисунку 3.2.

Свойство	Значение
Точек	133,395 из 222,524
Цвета точек	3 канала, uint8
Характерные точки	Нет
СК ошибка репроецирования	0.125891 (0.548608 пикс)
Макс. ошибка репроецирования	0.389117 (18.012 пикс)
Средний размер точек	3.02865 пикс
Средняя кратность связующих точек	2.91427
Параметры выравнивания	
Точность	Очень высокая
Общая преселекция	Да
Преселекция по привязке	Исходные значения
Характерных точек на кадр	40,000
Макс. количество точек на Мпикс	1,000
Связующих точек на кадр	4,000
Подавлять неподвижные связующие точки	Да
Локальное отождествление снимков	Да
Адаптивное уточнение модели камеры	Да
Время отождествления	4 минуты 12 секунд
Пиковое потребление памяти отождествления	269.13 Мбайт
Время выравнивания	4 минуты 58 секунд
Пиковое потребление памяти фототриангуляции	343.98 Мбайт
Дата создания	2023:11:21 21:27:10
Версия программы	2.0.2.16102
Размер файла	13.90 Мбайт

Рисунок 3.2 Параметры вирівнювання

Орієнтування камер та розріджена хмара точок показані на
Рисунках 3.3-3.4.

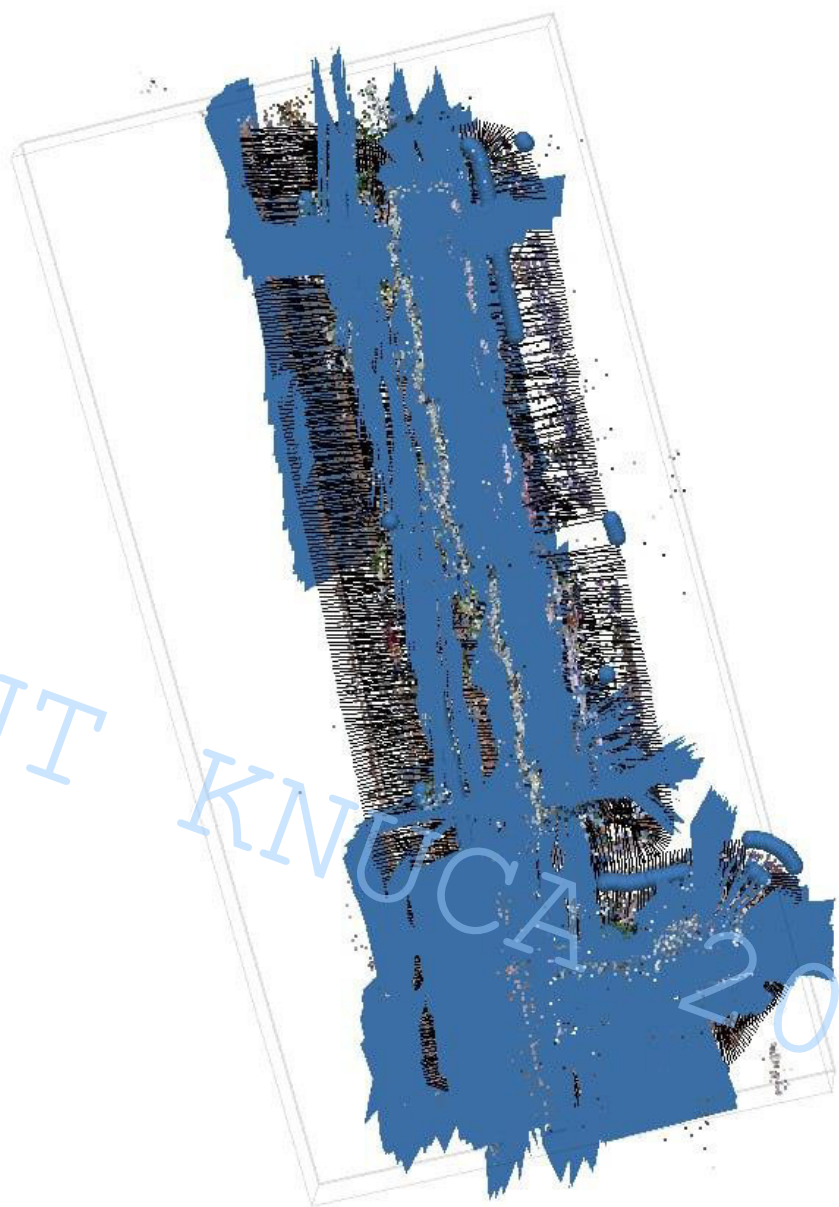


Рисунок 3.4 Орієнтування камер



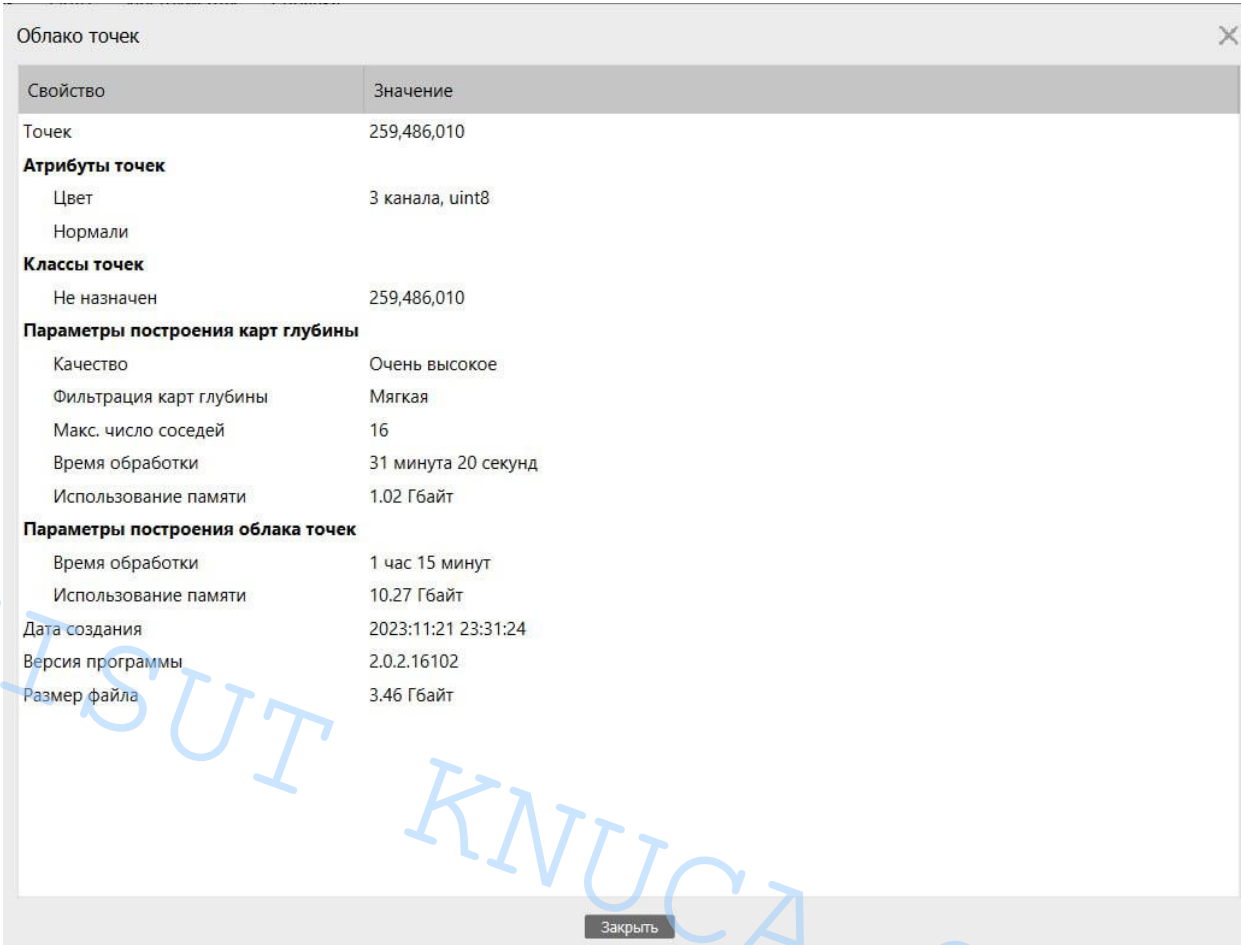
Рисунок 3.4 Розріджена хмара точок.

У Metashape розріджена хмара точок не використовується на подальших стадіях обробки (крім режиму побудови моделі на основі розрідженої хмари точок) і служить тільки для візуальної оцінки якості вирівнювання фотографій.

3.1.2 Побудова щільної хмари точок

На другому етапі Metashape виконує побудову щільного хмари точок на підставі положень камер, розрахованих на першому етапі обробки, і використовуваних фотографій. Перед переходом на наступний етап створення 3D моделі або перед експортом моделі, щільна хмара точок може бути відредаговано та класифіковано.

У результаті побудови щільної хмари точок було створено 259 486 010 точок. Всі параметри створення показані на Рисунку 3.5.



Свойство	Значение
Точек	259,486,010
Атрибуты точек	
Цвет	3 канала, uint8
Нормали	
Классы точек	
Не назначен	259,486,010
Параметры построения карт глубины	
Качество	Очень высокое
Фильтрация карт глубины	Мягкая
Макс. число соседей	16
Время обработки	31 минута 20 секунд
Использование памяти	1.02 Гбайт
Параметры построения облака точек	
Время обработки	1 час 15 минут
Использование памяти	10.27 Гбайт
Дата создания	2023:11:21 23:31:24
Версия программы	2.0.2.16102
Размер файла	3.46 Гбайт

Рисунок 3.5 Параметры створення щільної хмари точок

Щільна хмара точок показана на Рисунку 3.6.

Після створення щільної хмари точок її було підчищено та відредаговано. Після редагування залишилось 255 752 848 точок. Відредаговану хмару точок див. на Рис. 3.7.

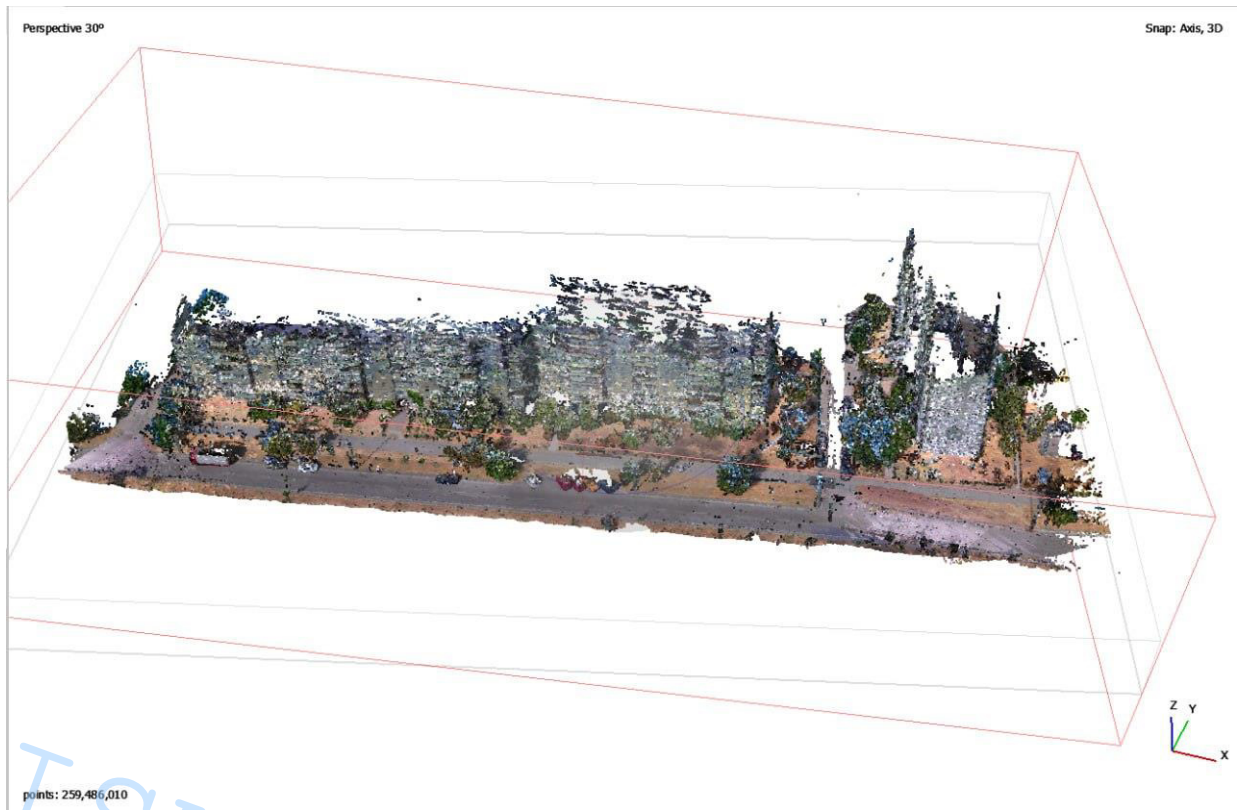


Рисунок 3.6 Щільна хмара точок



Рисунок 3.7 Відредагована щільна хмара точок

Під час перегляду помітив що програма при обробці рослинності та тіней видає помилки, або пусті області. Приклади див. на Рисунках 3.8-3.10



Рисунок 3.8 Пуста область в щільній хмарі



Рисунок 3.9 Рослинність змішалась з фасадом дома



Рисунок 3.10 Рослинність на домі вид збоку

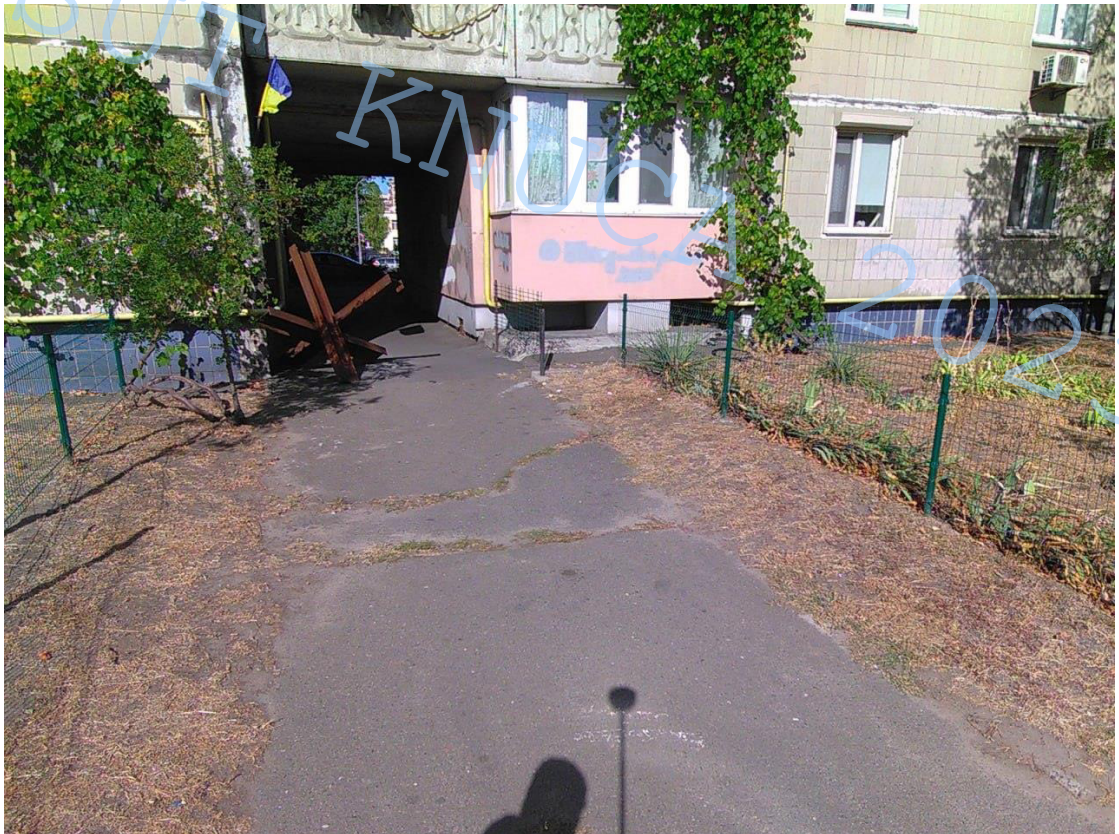


Рисунок 3.11 Фотографія рослинності на домі

Наступним кроком класифікував точки та зробив фільтрацію, видаливши «Рослинність» та «Автомобілі». Результати класифікації та фільтрації показані на Рис. 3.12-3.13

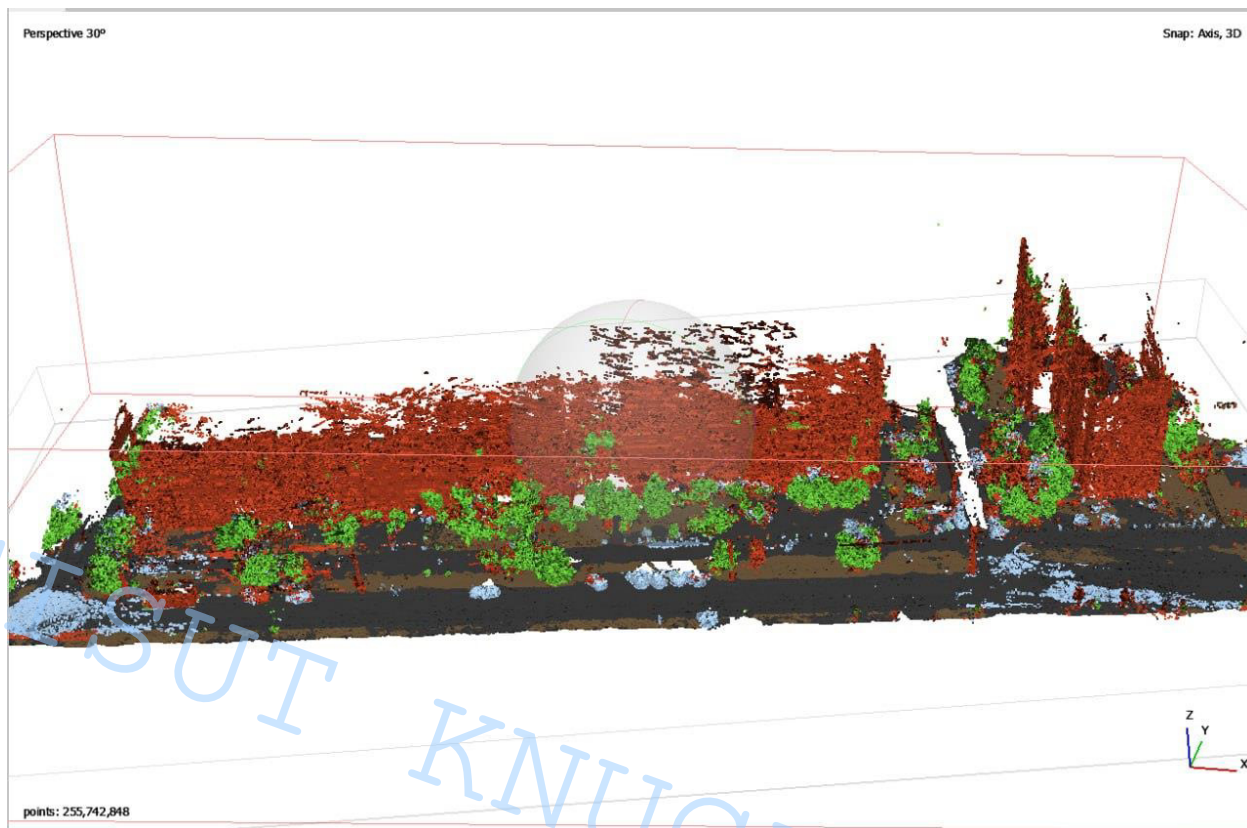


Рисунок 3.12 Класифікація щільної хмари точок

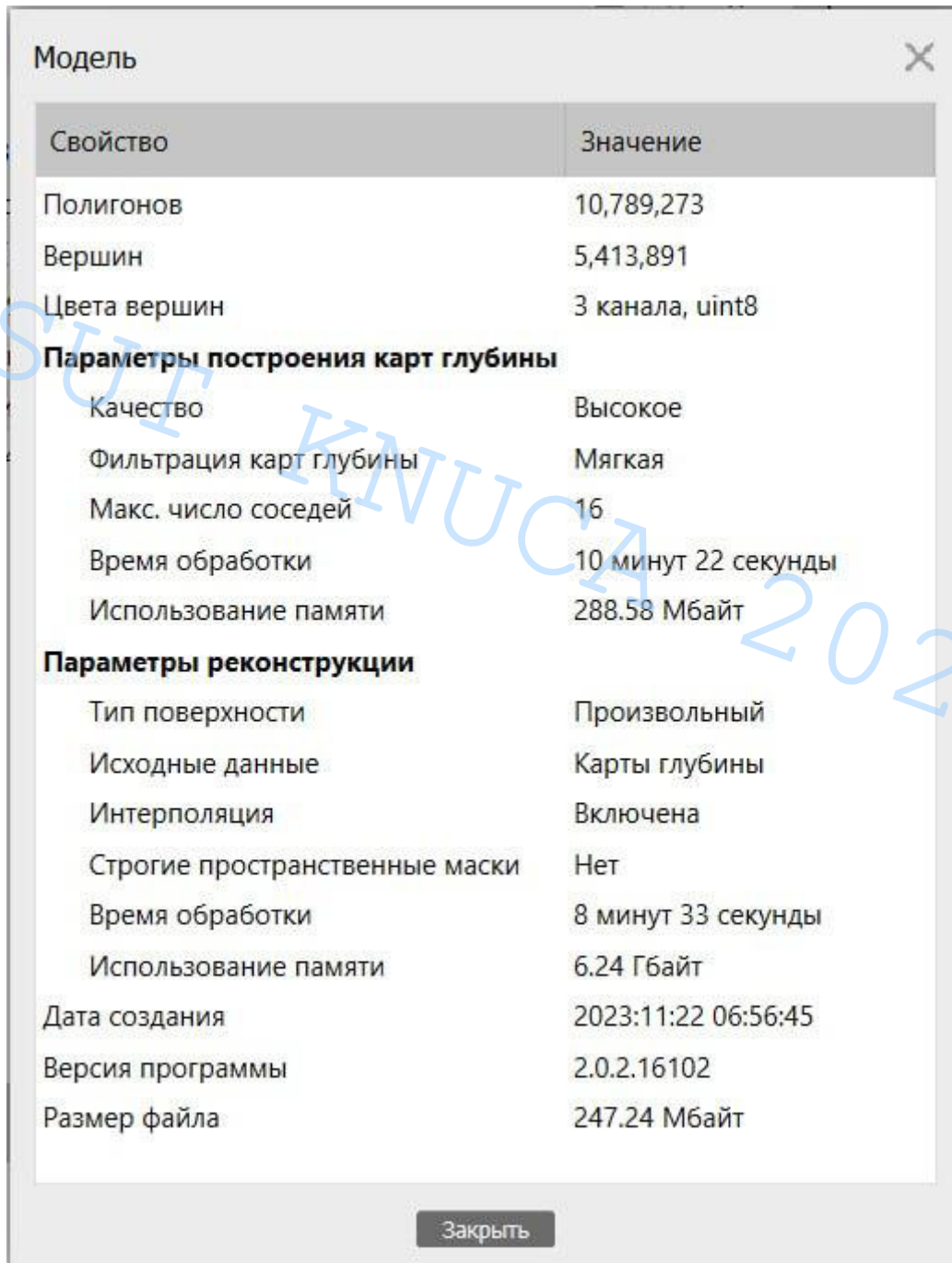


Рисунок 3.13 Фільтрована класифікація щільної хмари точок

3.1.3 Побудова тривимірної поверхні: полігональної моделі і карти

висот

На третьому етапі Metashape буде тривимірну поверхню: полігональну модель і карту висот. Тривимірна полігональна модель описує форму об'єкта на підставі щільного хмари точок. Параметри побудови полігональної моделі та карти висот показані на Рисунках 3.14-3.15.



Свойство	Значение
Полигонов	10,789,273
Вершин	5,413,891
Цвета вершин	3 канала, uint8
Параметры построения карт глубины	
Качество	Высокое
Фильтрация карт глубины	Мягкая
Макс. число соседей	16
Время обработки	10 минут 22 секунды
Использование памяти	288.58 Мбайт
Параметры реконструкции	
Тип поверхности	Произвольный
Исходные данные	Карты глубины
Интерполяция	Включена
Строгие пространственные маски	Нет
Время обработки	8 минут 33 секунды
Использование памяти	6.24 Гбайт
Дата создания	2023:11:22 06:56:45
Версия программы	2.0.2.16102
Размер файла	247.24 Мбайт

Закреть

Рисунок 3.14 Параметры побудови полігональної моделі

Свойство	Значение
Количество	1729
Параметры построения карт глубины	
Качество	Высокое
Фильтрация карт глубины	Мягкая
Макс. число соседей	16
Время обработки	10 минут 22 секунды
Использование памяти	288.58 Мбайт
Дата создания	2023:11:22 06:48:28
Версия программы	2.0.2.16102
Размер файла	1.03 Гбайт

Закреть

Рисунок 3.15 Параметры побудови карти висот

Сама полігональна модель показана на Рис. 3.16



Рисунок 3.16 Полігональна модель

3.1.4 Побудова текстури для полігональної моделі

Останнім кроком було побудування тайлової моделі на основі полігональної. Параметри побудови та тайлова модель показані на Рисунок 3.17-3.18.

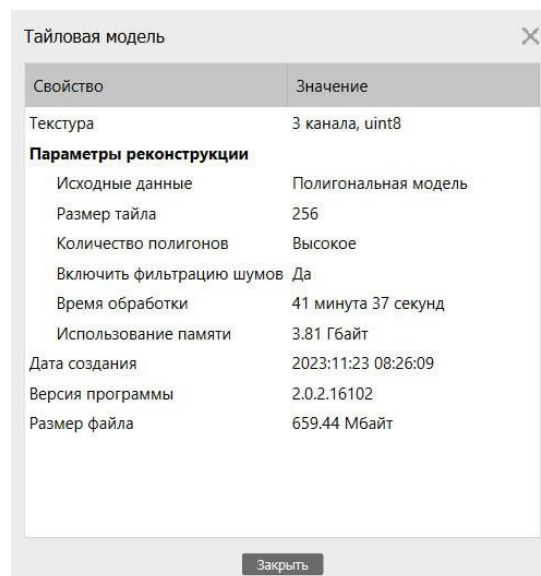


Рисунок 3.17 Параметры побудови тайлової моделі



Рисунок 3.18 Тайлова модель

Також була створена цифрова модель місцевості. Параметри побудови та ЦММ показані на рисунках 3.19-3.20.

ЦММ	
Свойство	Значение
Размер	8,795 x 5,967
Система координат	UCS-2000 / Gauss-Kruger zone 6 (EPSG::5564)
Параметры построения карт глубины	
Качество	Высокое
Фильтрация карт глубины	Мягкая
Макс. число соседей	16
Время обработки	10 минут 22 секунды
Использование памяти	288.58 Мбайт
Параметры реконструкции	
Исходные данные	Карты глубины
Интерполяция	Включена
Время обработки	12 минут 29 секунд
Использование памяти	6.52 Гбайт
Дата создания	2023:11:22 07:52:00
Версия программы	2.0.2.16102
Размер файла	125.49 Мбайт

Закреть

Рисунок 3.19 Параметры побудови ЦММ

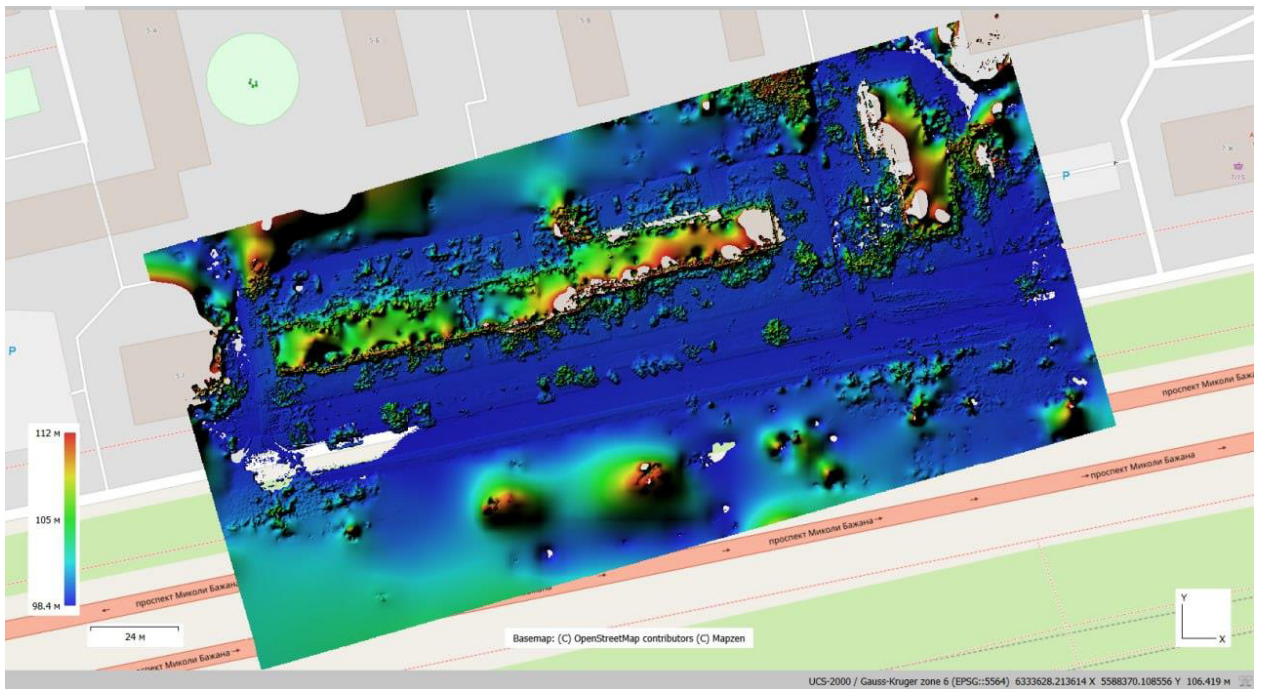


Рисунок 3.20 Цифрова модель місцевості

3.2. Обробка даних знятих лазерним сканером

Обробка даних лазерним сканером значно зручніше та швидше, тому що після знімання ми отримуємо вже готову хмару точок. Саму хмару точок див. на Рисунок 2.1. Хмару точок було класифіковано в Metashape, результати класифікації див. на Рисунок 3.21.



Рисунок 3.21 Класифікація хмари точок з лазерного сканера

Класифіковані точки були відфільтровані, та видалені некласифіковані точки, низька, середня та висока рослинність, шуми, вода. Результат див. Рис 3.22.

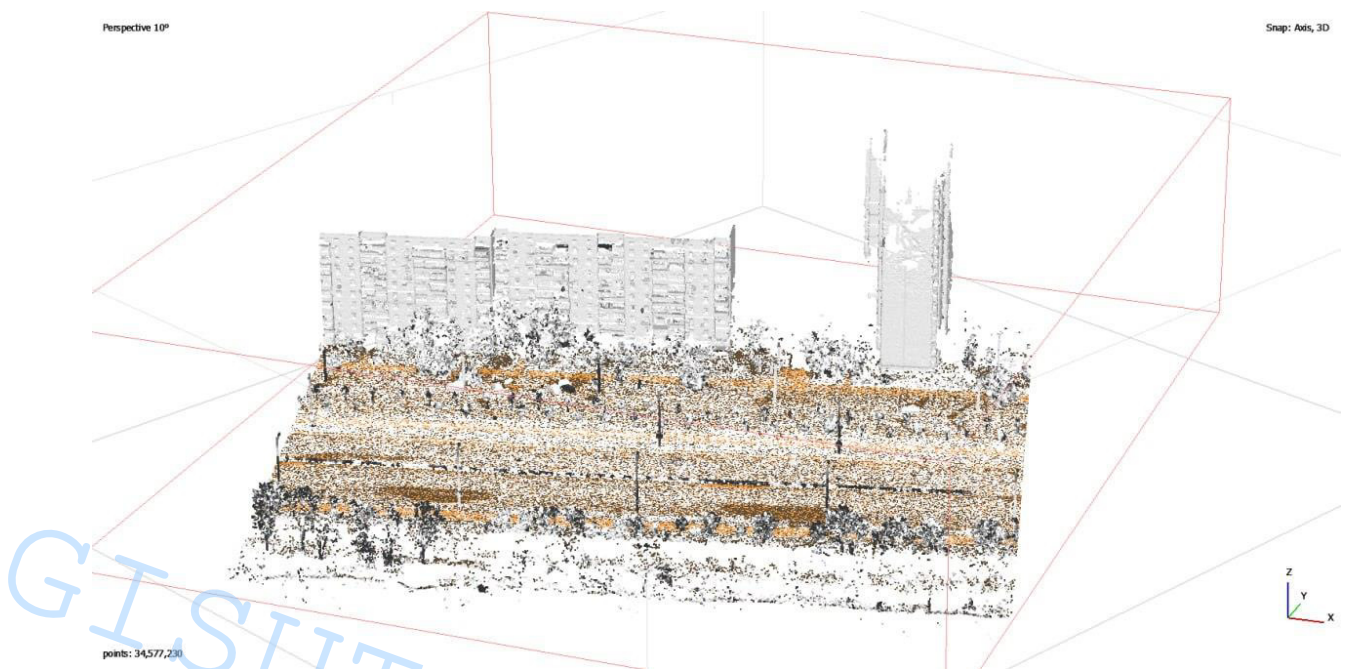


Рисунок 3.22 Фільтрована класифікація хмари точок з лазерного сканера

Слід зазначити що програма класифікувала будівлі, стовпи та стовпи дерев як точку перекриття. На основі хмари точок була побудована полігональна модель. Параметри побудови та сама модель показані на Рисунку 3.23-3.24.

Свойство	Значение
Полигонов	32,188,087
Вершин	16,090,226
Цвета вершин	3 канала, uint8
Параметры реконструкции	
Тип поверхности	Произвольный
Исходные данные	Облако точек
Интерполяция	Включена
Строгие пространственные маски	Нет
Время обработки	23 минуты 46 секунд
Использование памяти	10.98 Гбайт
Дата создания	2023:10:19 06:52:37
Версия программы	2.0.2.16102
Размер файла	736.67 Мбайт

Закреть

Рисунок 3.23 Параметры побудови полігональної моделі з хмари точок знятої лазерним сканером

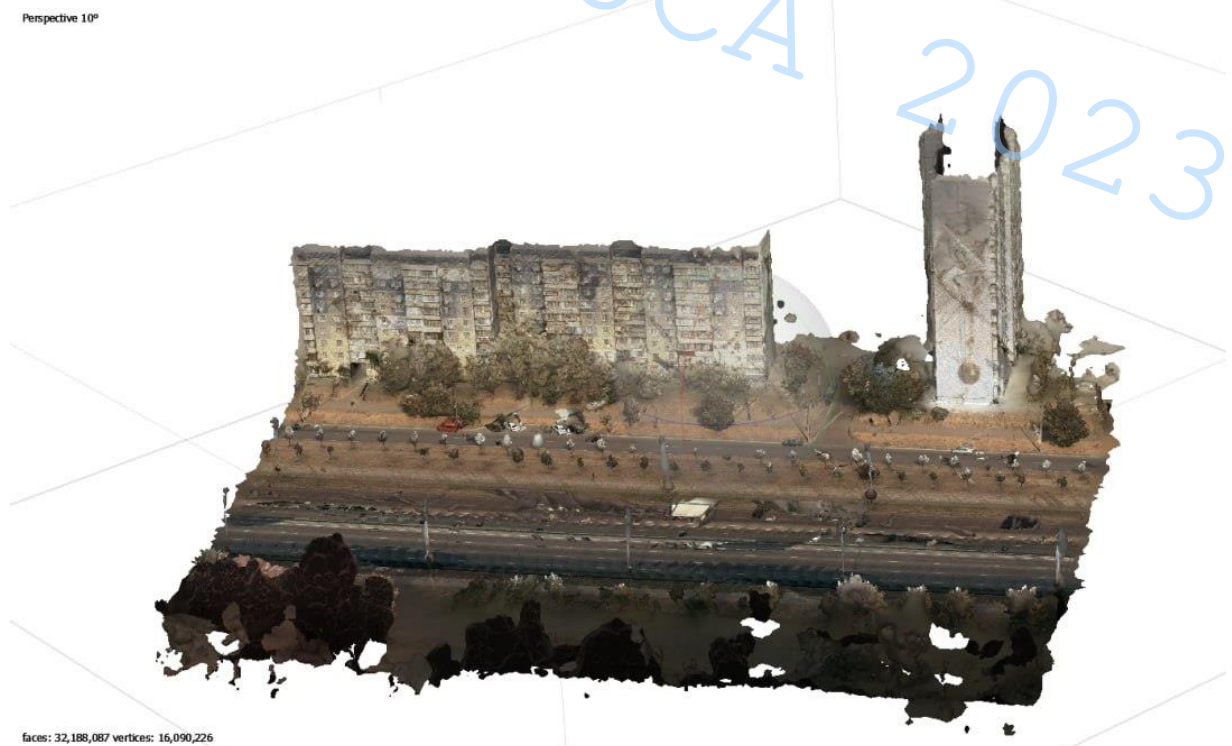


Рисунок 3.24 Полігональна модель з лазерного сканера

На основі полігональної моделі була створена ЦММ. Параметри побудови ЦММ та саму ЦММ див. на Рис. 3.25-3.26.

Свойство	Значение
Размер	16,527 x 17,178
Система координат	UCS-2000 / Gauss-Kruger zone 6 (EP...
Параметры реконструкции	
Исходные данные	Полигональная модель
Интерполяция	Экстраполированная
Время обработки	2 минуты 4 секунды
Использование памяти	1.57 Гбайт
Дата создания	2023:10:19 07:02:04
Версия программы	2.0.2.16102
Размер файла	597.35 Мбайт

Рисунок 3.25 Параметры побудови ЦММ з лазерного сканера

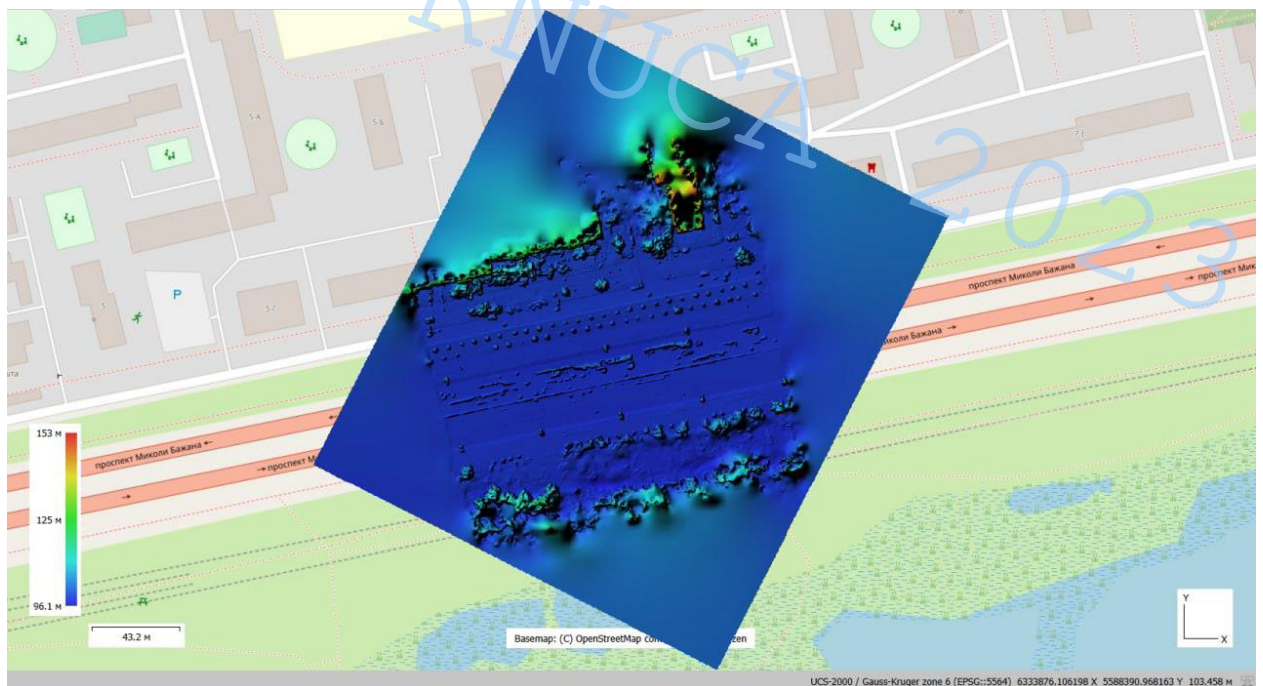


Рисунок 3.26 Цифрова модель місцевості з лазерного сканера

3.3 Обробка даних знятою камерою

Для зйомки камерою використовували телефон моделі Redmi Note 9 Pro, з роздільною здатністю фото – 4640x2088 пікселів. Середній розмір фото – 5,5 МБ. При зйомці фото також використовувався GPS, тому знімки вже мали координати з точністю до 10 метрів. Для прив'язки до системи координат зробили опорну геодезичну систему (див. Таблиця 2.1).

Так як зйомку проводили по чотирьом фасадам будівлі, то першим кроком було розподілення фотографій по різним блокам. Загалом вийшло 6 блоків з загальною кількістю фотографій – 711. Далі зробили вирівнювання для окремих блоків. З хмар точок отриманих після вирівнювання зробив 6 щільних хмар точок (див. Рис. 3.27)

- ☐☐☐☐ Облако точек (1,287,997 точек, Среднее качество)
- ☐☐☐☐ Облако точек (2,309,158 точек, Среднее качество)
- ☐☐☐☐ Облако точек (11,989,235 точек, Среднее качество)
- ☐☐☐☐ Облако точек (3,562,048 точек, Среднее качество)
- ☐☐☐☐ Облако точек (7,039,460 точек, Среднее качество)

Рисунок 3.27 Щільні хмари точок

В результаті побудови хмар точок отримали 6 невірвняних в просторі хмар (див. Рис 3.28)



Рисунок 3.28 Невирівняні хмари точок

За допомогою інструментів Переміщення, Поворот та Масштабування моделі вручну вирівнюємо в просторі ці моделі, результат дивіться на Рисунку 3.29.

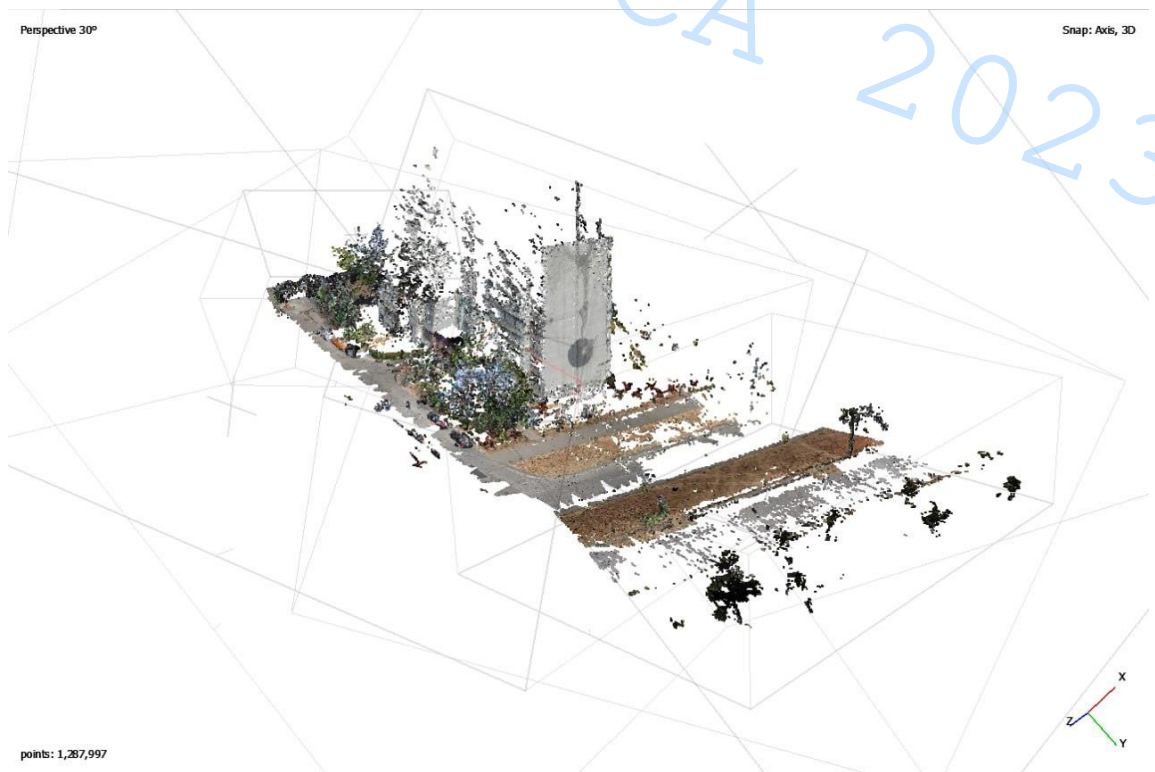


Рисунок 3.29 Вирівняні хмари точок

Після вирівнювання хмар об'єднаємо всі блоки в один. Далі проставимо маркери на фото в об'єднаному блоці, та позначимо їх координати. Всього вийшло 20 маркерів на 345 знімків

Маркеры	Восточное указ	Северное указа	Высота (м)	Точность (м)	Ошибка (м)	Проекции	Ошибка (пикс)
✓ 7 зах 6	6333752.604600	5588440.758300	98.832400	0.005000	5982698.315938	6	18088958.721
✓ 7 зах 7	6333753.516300	5588446.787900	98.592300	0.005000	2394071.152591	10	2728284.814
✓ 7 зах 5	6333755.998600	5588422.978200	98.999400	0.005000	521242.789032	4	15664571.179
✓ 7 зах 2	6333757.932600	5588411.552200	99.113200	0.005000	1346667.974117	4	23356975.059
✓ 7 зах 3	6333758.437300	5588414.274500	99.314500	0.005000	1565996.289172	5	21276002.780
✓ 7 зах 4	6333762.377700	5588420.424200	99.215100	0.005000	6041649.823883	14	254993.993
✓ 7 пд 1	6333770.591900	5588393.462800	98.955600	0.005000	3222703.336026	3	217645987.869
✓ 7 стіна 1	6333773.016300	5588410.384500	100.522900	0.005000	1221826.194607	15	10365490.678
✓ 7 стіна 2	6333773.448500	5588408.497200	99.923500	0.005000	570503.593661	3	16022677.331
✓ 7 стіна 3	6333774.817000	5588401.340700	100.476600	0.005000	5039341.241893	12	13966566.037
✓ 7 стіна 0	6333775.335000	5588440.684200	99.872900	0.005000	0.000442	14	763.488
✓ 7 пд 10	6333775.863600	5588384.561700	98.787000	0.005000	1491331.675844	11	14468716.246
✓ 7 стіна 4	6333776.835900	5588398.119300	100.232400	0.005000	4868791.849151	7	984129.451
✓ 7 пд 9	6333779.675200	5588387.693600	98.801400	0.005000	1473851.409816	8	18749923.653
✓ 7 пд 8	6333785.468600	5588387.948900	98.789500	0.005000	1472726.786300	6	21792575.056
✓ 7 пд 7	6333789.778900	5588389.968200	98.719800	0.005000	6365588.472734	4	503277.630
✓ 7 пд 6	6333794.938700	5588389.112600	98.711200	0.005000	1505963.642466	4	22104288.688
✓ 7 пд 5	6333797.447800	5588391.774800	98.678800	0.005000	0.000215	3	1317.610
✓ 7 пд 4	6333799.508500	5588440.758300	98.592300	0.005000	0.000166	2	1448.316
✓ краска	6333810.280700	5588375.183800	98.789300	0.005000	0.000410	20	386.120
Общая ошибка							
Опорные точки					3108226.677039		32550164.027
Контрольные то...							

Рисунок 3.30 Маркери

Після оновлення прив'язки координати фотографій змінились, але якщо подивитись на стовпчик Похибки (Рис. 3.30) то можна побачити ледь не мільйонні значення. Така похибка вийшла через те що під час зйомки камерою пропав GPS, і воно записало координати як нескінченність. Навіть після скидання прив'язки програма залишала ці координати нескінченними, що і дало таку похибку.

РОЗДІЛ 4. ДОСЛІДЖЕННЯ ТА АНАЛІЗ ОБРОБЛЕНИХ МОДЕЛЕЙ

4.1 Дослідження точності та якості моделей

У результаті обробки ми отримали дві полігональні моделі. Для визначення якості моделей ми зробимо три порівняння:

- Порівняння координат характерних точок на моделі
- Порівняння довжин на моделі
- Порівняння дистанції між точками на хмарі точок

Розберем ці методи:

Порівняння координат характерних точок на моделі

Для порівняння координат характерних точок на моделі ці точки треба розставити. Робити ми це будемо в програмному забезпеченні Metashape, за допомогою додавання маркерів. Додані маркери див. на Рисунку 4.1 та 4.2.



Рисунок 4.1 Маркери на моделі з візуального ГНСС приймача

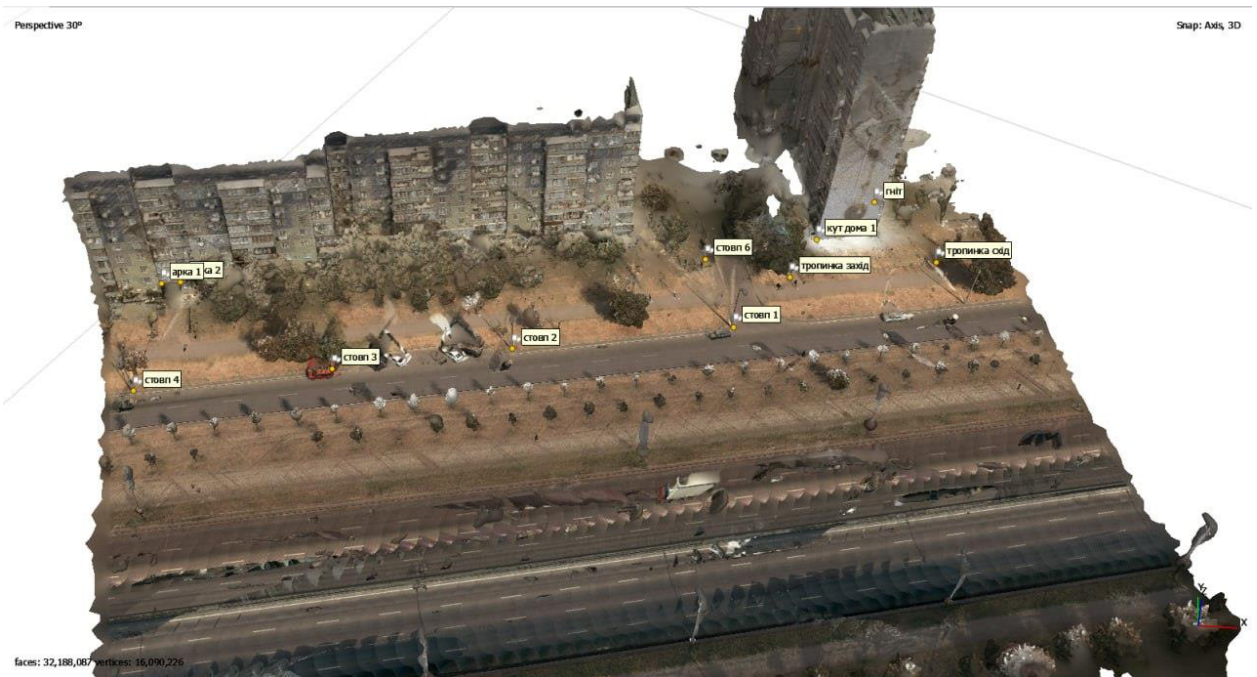


Рисунок 4.2 Маркери на моделі з лазерного сканера

Координати цих маркерів записані та розраховані в Таблиці 4.1. Середня квадратична похибка дорівнює 0,11 м (11 сантиметрів).

Найбільша нев'язка по координатам:

$X = 0,15$ м (15 см)

$Y = 0,51$ м (51 см)

$Z = 0,79$ м (79 см)

Найменша нев'язка по координатам:

$X = 0,01$ м (1 см)

$Y = 0,01$ м (1 см)

$Z = 0,11$ м (11 см)

За результатами порівняння можна зазначити що найбільша нев'язка по координатам висоти. Більш наближені маркери див. в Додатку Б.

Таблиця 4.1 Розрахунок точності моделей за характерними точками

СК: USK-2000 zone 5		Метод зйомки						Розрахунки				
		Лазерне сканування			Візуальний GNSS приймач							
№ точки	Назва точки	x, м	y, м	z, м	x, м	y, м	z, м	Δx, м	Δy, м	Δz, м	Δ, м	m
1	кут дома 1	6333776,79	5588397,81	99,26	6333776,91	5588397,93	98,93	-0,12	-0,12	0,33	0,12	0,36
2	гніт	6333786,75	5588399,85	108,26	6333786,69	5588399,88	108,00	0,06	-0,03	0,26	0,09	
3	тропинка захід	6333770,63	5588387,36	98,84	6333770,48	5588387,79	98,66	0,15	-0,44	0,17	0,13	
4	тропинка схід	6333800,29	5588393,33	99,21	6333800,22	5588393,65	98,41	0,07	-0,32	0,79	0,30	
5	стовп 1	6333758,76	5588373,29	98,89	6333758,75	5588373,19	98,77	0,01	0,10	0,12	0,04	
6	стовп 2	6333718,40	5588364,92	99,02	6333718,44	5588364,91	98,91	-0,04	0,01	0,11	0,04	
7	стовп 3	6333687,53	5588358,16	98,98	6333687,52	5588358,13	98,76	0,01	0,03	0,22	0,07	
8	стовп 4	6333655,42	5588351,18	98,82	6333655,41	5588351,12	98,63	0,01	0,06	0,18	0,06	
9	арка 1	6333655,73	5588372,35	103,15	6333655,88	5588371,84	102,89	-0,15	0,51	0,26	0,18	
10	арка 2	6333658,87	5588372,97	103,12	6333658,88	5588373,07	102,83	-0,01	-0,10	0,29	0,10	

В силу того, що вимірювана величина відома, для оцінки точності використано формулу Гаусса

$$m = \sqrt{\frac{[\Delta^2]}{n}}$$



Рисунок 4.3 Графік «Середня похибка за координатами»

Порівняння довжин на моделях

Для порівняння довжин були обрані характерні лінії (див. Додаток В). Розрахунок та довжини показані в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 Розрахунок точності моделей за довжинами

СК: USK-2000 zone 6		Метод зйомки		Розрахунки
		Лазерне сканування	Візуальний GNSS приймач	
№ лінії	Назва лінії	Довжина, м	Довжина, м	Різниця
1	Арка	3,22	3,25	0,03
2	Ширина тропинки 1	3,58	4,00	0,42
3	Ширина дд 1	5,61	5,66	0,05
4	Ширина дороги 3	7,35	7,03	0,32
5	Ширина дороги 1	7,37	7,35	0,02
6	Ширина дороги 2	7,42	7,33	0,09
7	Ширина парковка	10,90	10,70	0,20
8	Ширина дома	13,60	13,60	0,00
9	Стовп1-Стовп2	41,10	41,00	0,10
10	ДД-тропинка	61,80	60,60	1,20

За результатами розрахунків були визначенні:

- Найбільша різниця довжин – 1,2 м
- Найменша різниця довжин – 0 м
- Середня статистична різниця довжин – 0,243 м

Найменша різниця довжин – це ширина дому, та довжина яку найлегше позначити на моделі, що дає привід вважати інші похибки – людським фактором при вимірі довжин, або змінами в території за 3 роки між лазерним скануванням та зйомкою ГНСС приймачем.

Порівняння дистанцій між точками в хмарах точок

Для порівняння дистанцій між точками в хмарах точок використовували програмне забезпечення CloudCompare. За результатами побудови в минулому розділі ми отримали дві хмари точок. Одна була дана як вихідні дані – хмара точок з лазерного сканера, друга було зроблена фотограмметричним методом з фотографій візуального ГНСС приймача, саме їх ми і будемо порівнювати. В перший раз порівнюємо цілі хмари, обрізав хмару з візуального ГНСС приймача до області хмари з лазерного сканера. Порівняння цілих хмар точок показано на Рисунках 4.4-4.6

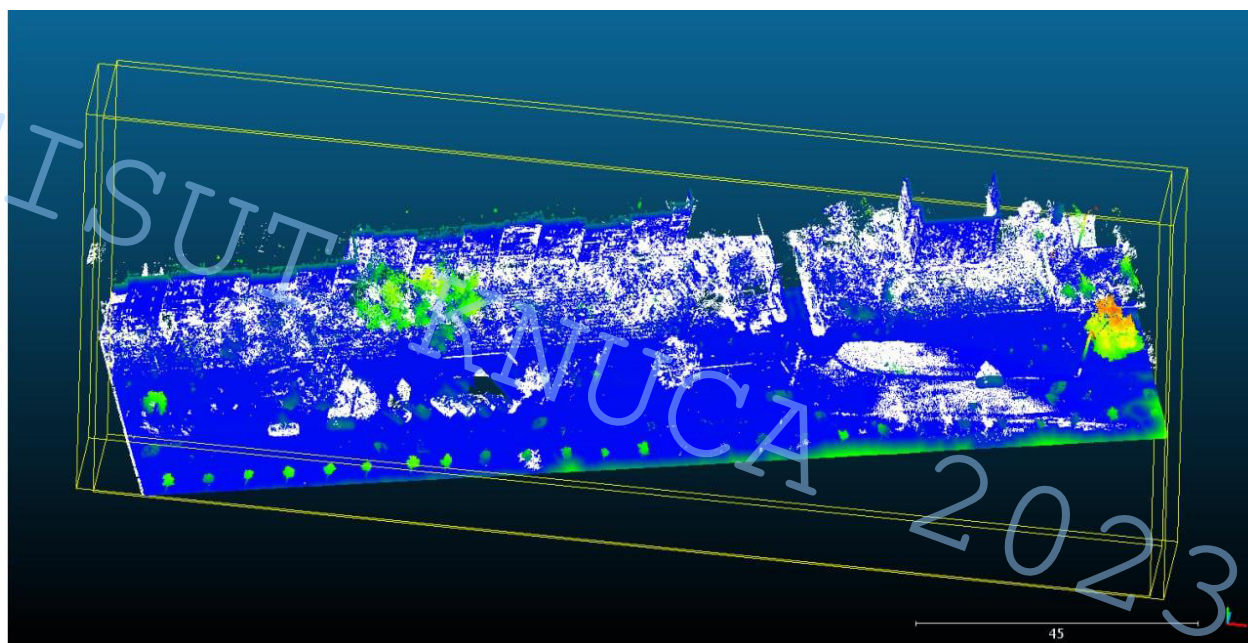


Рисунок 4.4 Різниця дистанцій між точками

1	Min dist.	0
2	Max dist.	10.1311
3	Avg dist.	0.1699
4	Sigma	0.670566
5	Max error	0.689335

Рисунок 4.5 Характеристика порівняння

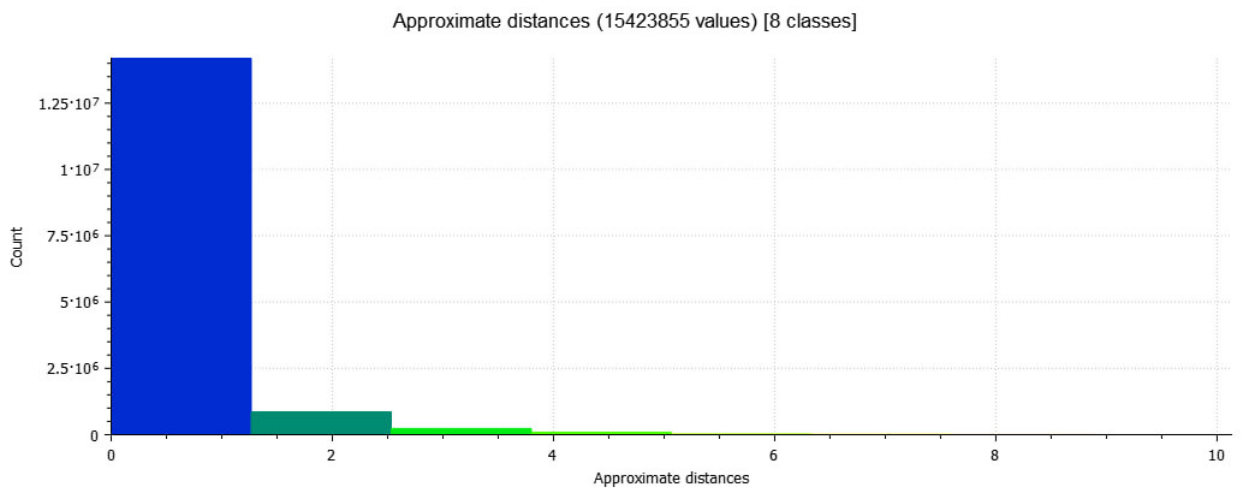


Рисунок 4.6 Гістограма к-ть точок до максимальної дистанції

За результатами порівняння цілих хмар точок, можна побачити що найбільша розбіжність саме в області дерев. Для більш точного дослідження порівняємо окремі частини цих хмар, наприклад область біля арки а також область автостоянки (Рис. 4.7 - 4.10).

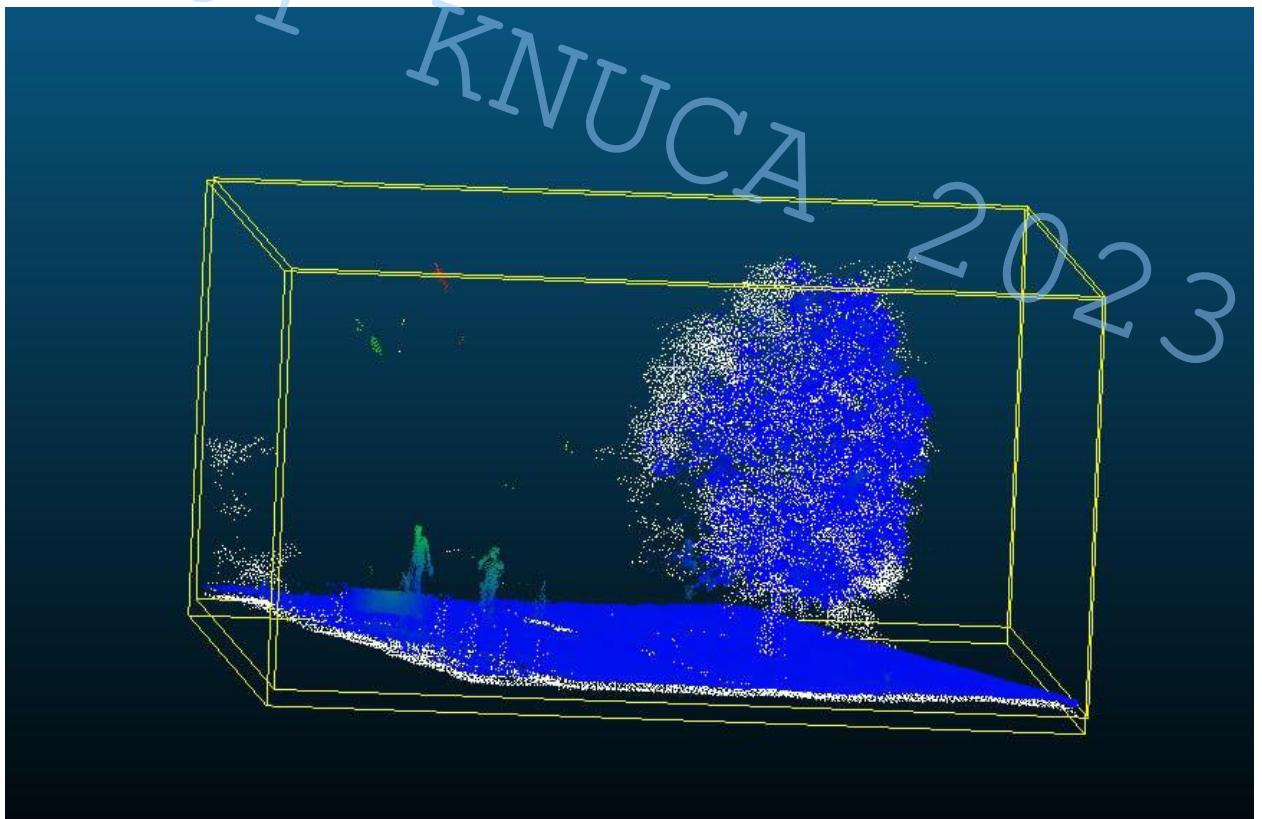


Рисунок 4.7 Різниця дистанцій в області біля арки

1	Min dist.	0
2	Max dist.	7.81146
3	Avg dist.	0.163782
4	Sigma	0.124077
5	Max error	0.0913262

Рисунок 4.8 Характеристика порівняння в частині хмар 1

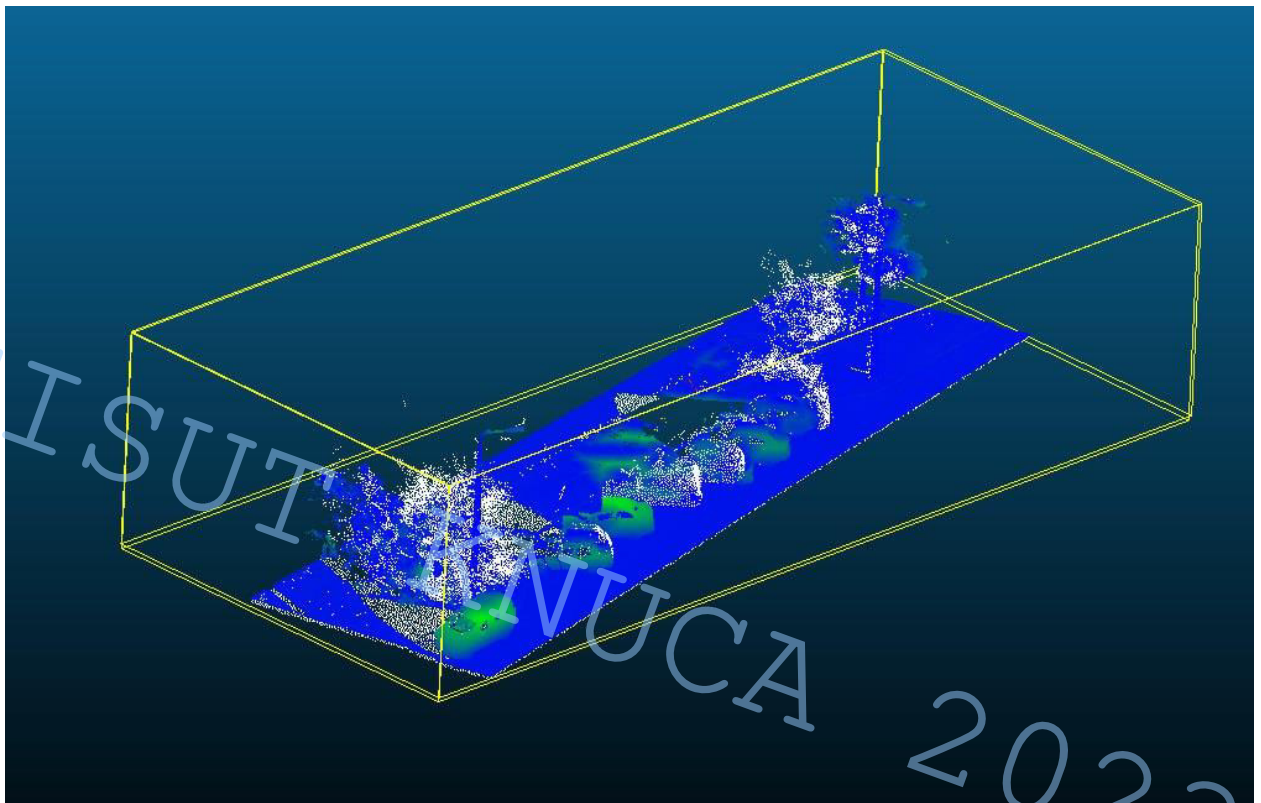


Рисунок 4.9 Різниця дистанцій в області автостоянки

1	Min dist.	0
2	Max dist.	5.71746
3	Avg dist.	0.20958
4	Sigma	0.321213
5	Max error	0.180802

Рисунок 4.10 Характеристика порівняння в частині хмар 2

За результатами порівняння наглядно можна побачити що найбільші розбіжності в хмарах там, де знаходяться зайві об'єкти – люди, автомобілі і т.п. Якщо дивитись на розбіжності в ландшафту, то вони мінімальні, впритул до 0.

Таблиця 4.3 Характеристика всіх трьох хмар точок

Характеристика				
Назва	1	2	3	Δ
Min dist.	0	0	0	0
Max dist., м	10,13	7,81	5,71	7,88
Avg. dist., м	0,17	0,16	0,21	0,18
Sigma, м	0,67	0,12	0,32	0,37
Max error, м	0,68	0,09	0,18	0,32

GISUT KNUCA 2023

ВИСНОВКИ

Для виконання цієї роботи було отримано дані лазерної зйомки, проведеної з лазерного сканера Leica Pegasus. Після була проведена зйомка візуальним ГНСС приймачем у візуальному та звичайному режимах, а також звичайною камерою. Під час подальшої обробки та аналізу даних визначено, що фотограмметрична модель зі звичайної камери для території з різними кутами зйомки майже неможлива. Було порівняно координати характерних точок на двох моделях, довжини, а також різниця довжин між хмарами точок.

Отримані значення довели що зйомка візуальним ГНСС приймачем за точністю досить схожа на зйомку лазерним сканером. За результатами порівняння можна зазначити такі переваги та недоліки кожного приладу:

Характеристики	ГНСС приймач	Лазерний сканер
Ціна	+	-
Швидкість	-	+
Точність	+	+
Компактність	+	-
Функціональність	+	-

А тепер докладніше по кожному пункту:

Ціна:

Ціна візуального ГНСС приймача Hi-Target vRTK = 295 тисяч гривень

Ціна лазерного сканера Leica Pegasus Two = 17,7 млн. гривень

Візуальний ГНСС приймач коштує в 60 разів дешевше за лазерний сканер.

Швидкість:

Візуальний ГНСС приймач досить швидко знімає фото та координати, але в порівнянні з лазерним сканером не витримує конкуренцію. Також слід

зазначити що в кінцевому результаті зйомки з лазерного сканера ми отримуємо хмару точок, а після зйомки візуальним ГНСС приймачем цю хмару точок ще треба створити, що впливає на час обробки.

Точність:

В роботі, під час аналізу, ми дізнались що в результаті координати з візуального ГНСС приймача доволі схожі з координатами з лазерного сканера. Якщо брати рельєф то координати збігаються аж до 0.

Компактність:

Для роботи з візуальним ГНСС приймачем достатньо взяти невеличкий кейс, та віху. Для роботи з лазерним сканером потрібен автомобіль, на який цей лазер потрібно буде встановити

Функціональність:

Візуальний ГНСС приймач окрім як у візуальному режимі може бути використаний як звичайний ГНСС приймач, що дає змогу виконувати базові задачі для геодезиста, такі як зйомка та винос твердих точок. В свою чергу лазерний сканер можна використовувати тільки для 3Д моделювання та створення ортофотопланів.

Отже в роботі ми дослідили методику виконання топографо-геодезичних робіт за допомогою візуального ГНСС приймача та визначили його переваги та недоліки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Калинич І.В. Нівелювання Лабораторний практикум: навчальний посібник. – Ужгород: Видавництво ДВНЗ «Ужгородський національний університет», 2020. – 88с.
2. Elliott D. Kaplan Understanding GPS/GNSS: Principles and Applications, Third Edition – Artech House, 2017.- 77с.
3. Bernhard Hofmann-Wellenhof GNSS – Global Navigation Satellite Systems: GPS, GLONASS, Galileo, and more – Austria: Institute for Navigation , 2008.- 82с.
4. Christopher J. Hegarty Evolution of the Global Navigation Satellite System (GNSS) – IEEE, 2008,- 15с.
5. Oliver Montenbruck The Multi-GNSS Experiment (MGEX) of the International GNSS Service (IGS) – Achievements, prospects and challenges, Advances in Space Research: 2017, -26с.
6. Xingxing Li Accuracy and reliability of multi-GNSS real-time precise positioning: GPS, GLONASS, BeiDou, and Galileo, Journal of Geodesy, 2015- 28с.
7. Староверов В.С. Інженерна геодезія: Підручник. – Чернігів: Видавництво Національного університету «Чернігівська політехніка», 2022. – 700 с.
8. N. Pfeifer Laser scanning – principles and applications, European Association of Geoscientists & Engineers, 2007.- 18с.
9. George L. Heritage Laser Scanning for the Environmental Sciences, Blackwell Publishing Ltd, 2009.- 278с.
10. Marshall, Gerald F. Handbook of Optical and Laser Scanning, Taylor & Francis: 2012.- 788с.
11. Emmanuel P. Baltsavias A comparison between photogrammetry and laser scanning, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing: 1999.- 83-94с.
12. The Surveyor 4.0: Which technical skills are needed today?: GIM International Business Guide Issue 1 2023 | Volume 37, 2023. – 52 с.

13. Чмчян Т.Т. Расчет точности геодезических работ в строительстве: справочник [Текст] / Т.Т. Чмян. –1988. – 151 с.

14. Турчин І.М. Процедура виконання топографо-геодезичних робіт при розробленні технічної документації із землеустрою : кваліфікаційна робота. Дубляни, 2021. 41 с.

15. Даценко Людмила Миколаївна Топографо-геодезичні та картографічні роботи при землеустрої.- Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного, 2020. – 53-57с.

16. Дорожинський О.Л., Тукай Р. Фотограмметрія: Підручник.- Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2008. – 332 с.

17. Lei Shi 3D Modeling of Buildings Based on RTK and Image Processing.- Proceedings of the 30th International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation: Portland, Oregon, 2017.- 463-471с.

18. <https://www.swisstopo.admin.ch/en/maps-data-online/maps-geodata-online/3d-viewer.html#produkte>

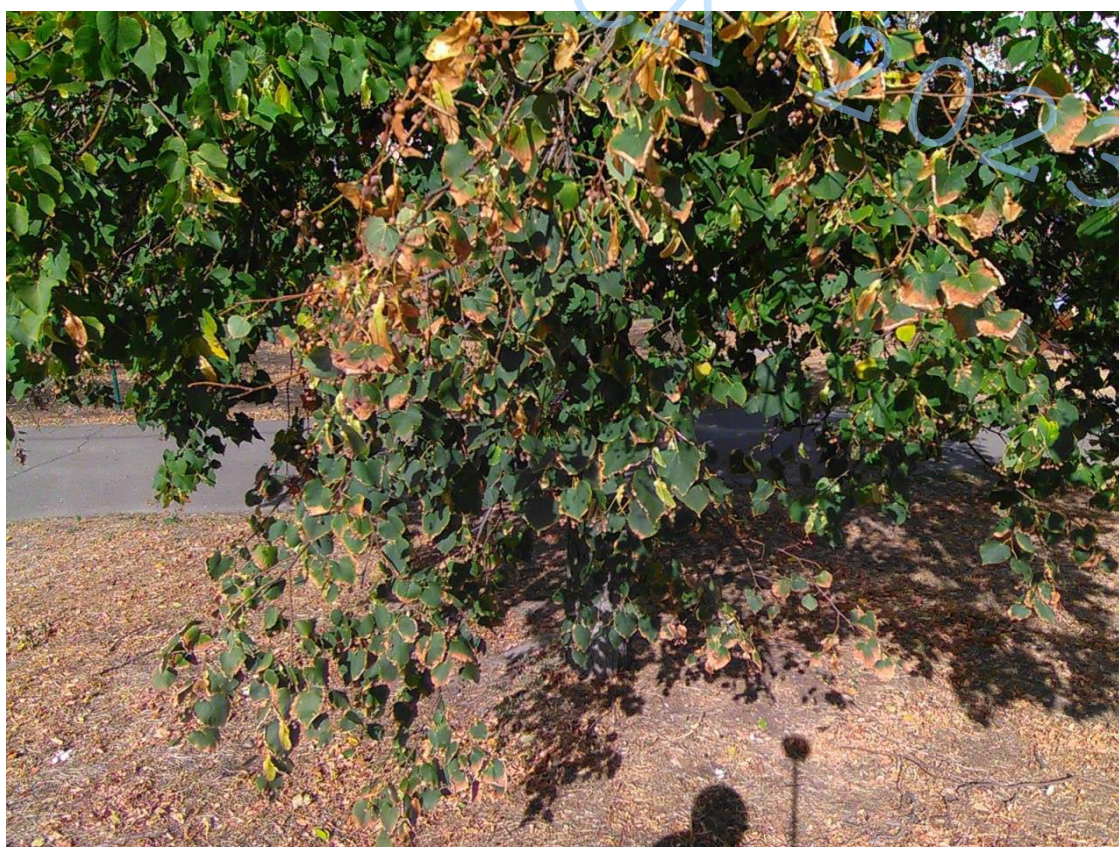
19. <https://www.swisstopo.admin.ch/en/geodata/landscape/buildings3d2.html>

20. Денис Горковчук. Опрацювання даних фотограмметричного знімання з БПЛА. – Київський національний університет будівництва і архітектури, 2021. – 70 с.

ДОДАТКИ

Додаток А

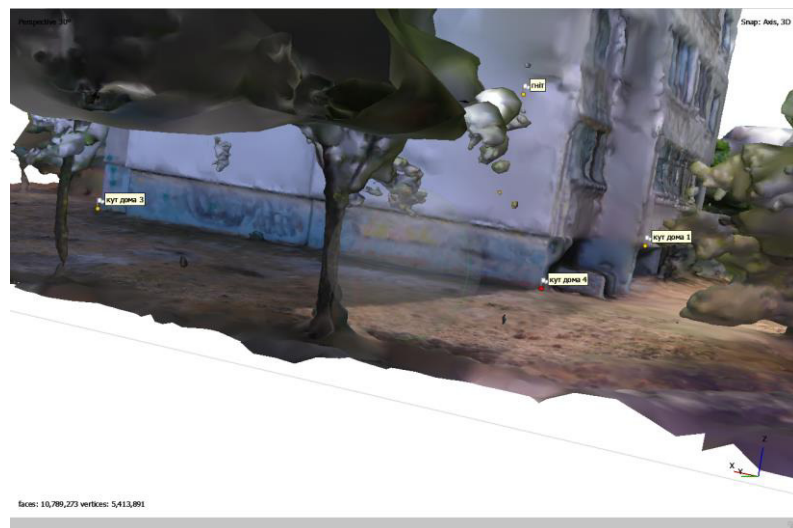
Приклади невіривняних фотографій з візуального ГНСС приймача

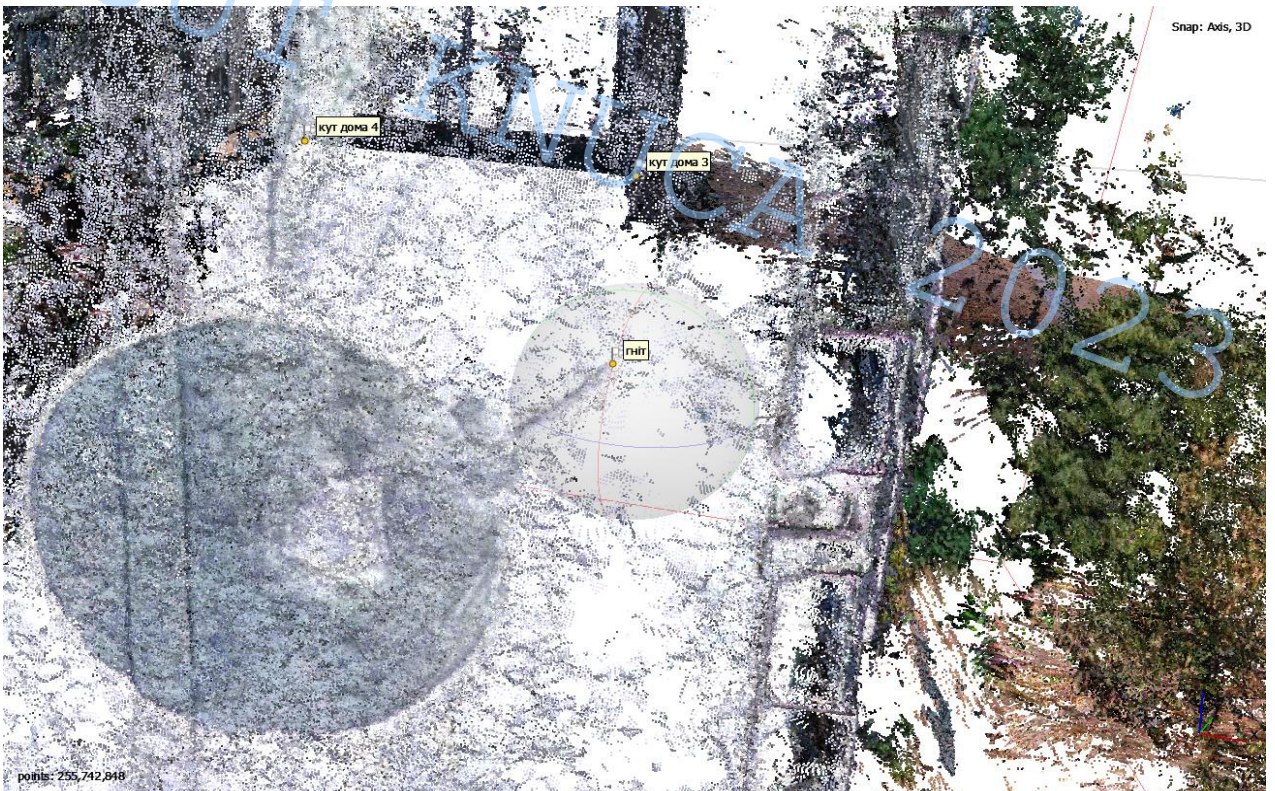




GISUT KNUCA 2023

Розставлення характерних точок на моделях







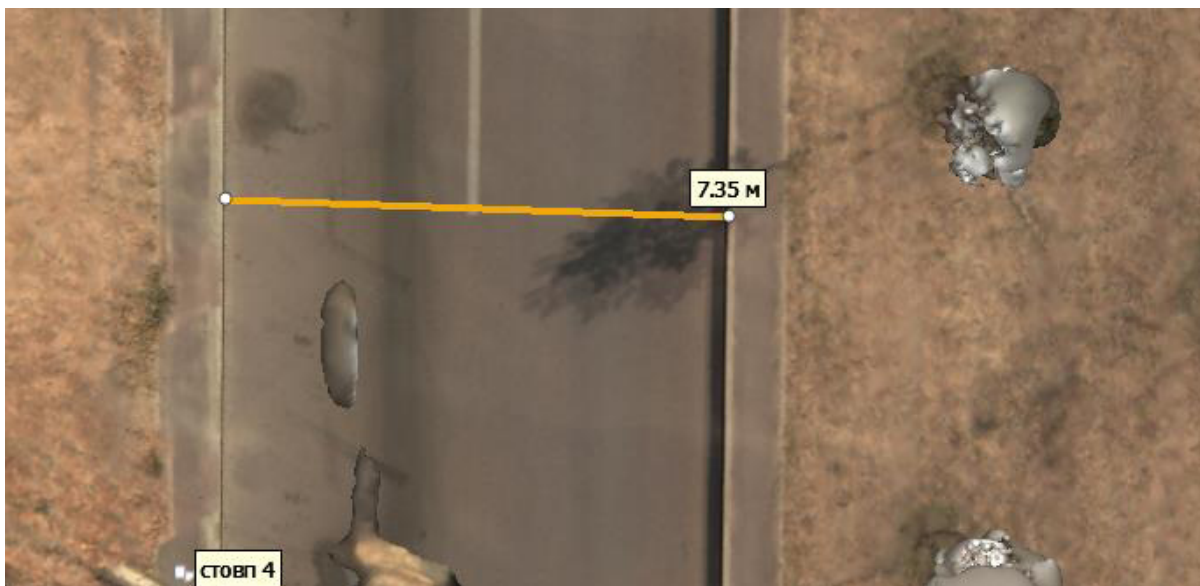


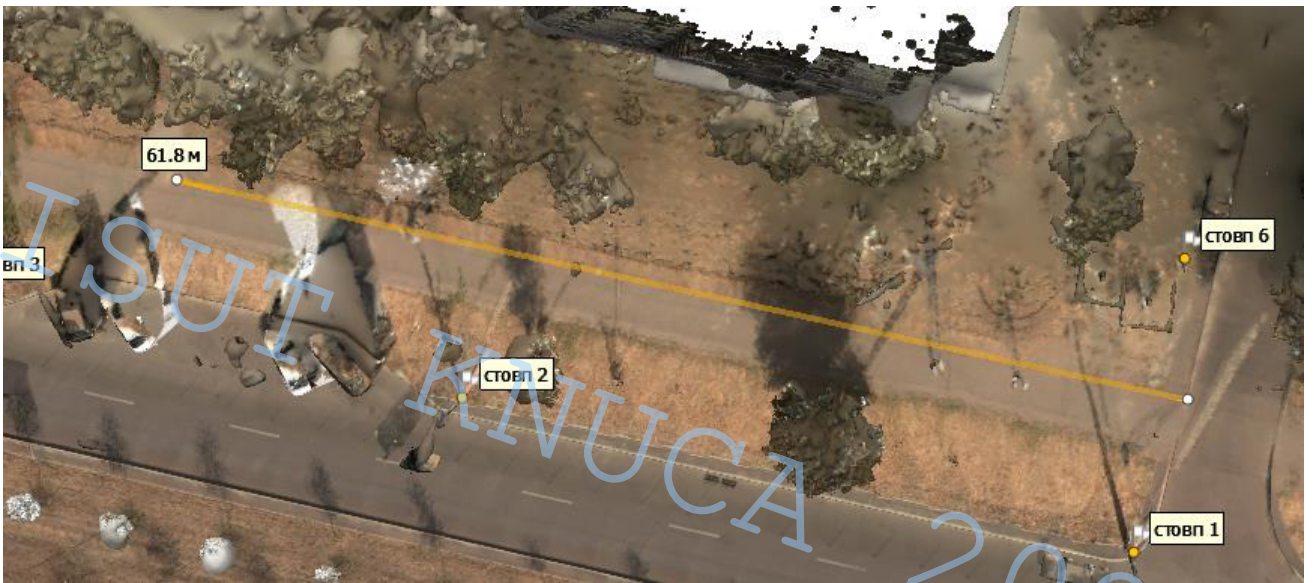
GISUT
КНУСА
2023



Довжини









GISUT KNUCA 2023