

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**

**ФАКУЛЬТЕТ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ
ТА УПРАВЛІННЯ ТЕРИТОРІЯМИ**

Кафедра Інженерної геодезії

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО КОМПЛЕКСНОЇ АТЕСТАЦІЙНОЇ ВИПУСКНОЇ РОБОТИ
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ БАКАЛАВРА**

на тему:

Геодезичні роботи для побудови BIM моделі споруди

1. Геодезичні роботи для виконання обмірів фасадів споруди

Романюк Богдан Васильович

2. Геодезичні роботи для виконання обмірів внутрішніх приміщень

Гончаров Антон Сергійович

Київ 2022 р.

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**

**ФАКУЛЬТЕТ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ
ТА УПРАВЛІННЯ ТЕРИТОРІЯМИ**

Кафедра Інженерної геодезії

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ІГ

Дем'яненко Р.А.

“ ___ ” _____ 20__ року

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО КОМПЛЕКСНОЇ АТЕСТАЦІЙНОЇ ВИПУСКНОЇ РОБОТИ
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ БАКАЛАВРА**

Геодезичні роботи для побудови ВІМ моделі споруди

Ч1. Геодезичні роботи для виконання обмірів фасадів споруди

(назва)

Виконав студент групи ___ГД-41_____

Спеціальність: **193 «Геодезія та землеустрій»**

Спеціалізація: **193.01 «Геодезія»**

Романюк Богдан Васильович

(прізвище, ім'я та по батькові повністю)

Керівник: Медведський Ю.В.

(прізвище та ініціали)

доцент, кандидат технічних наук

(вчене звання, науковий ступінь)

Ідентичність підтверджую

Київ 2022 р.

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**

Факультет: **Геоінформаційних систем та управління територіями**

Кафедра: **Інженерної геодезії**

Освітній рівень: **бакалавр за освітньо-професійною програмою**

Спеціальність: **193 «Геодезія та землеустрій»**

Спеціалізація: **193.01 «Геодезія»**

ЗАТВЕРДЖУЮ

Декан факультету ГІСУТ

Нестеренко О.В.

“ ____ ” _____ 20__ року

**З А В Д А Н Н Я
ДО ВИКОНАННЯ АТЕСТАЦІЙНОЇ ВИПУСКНОЇ РОБОТИ
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТЬОГО СТУПЕНЯ БАКАЛАВРА**

Романюк Богдан Васильович

(прізвище, ім'я та по батькові студента)

1. Тема роботи «Геодезичні роботи для побудови ВІМ моделі споруди. Ч1. Геодезичні роботи для виконання обмірів фасадів споруди» _____ затверджена наказом ректора КНУБА № __347/2_____ від “_20_” 05 2022_ року.

2. Керівник роботи: Медведський Юрій Вікторович доцент, к.т.н.

(прізвище, ім'я та по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

3. Строк подання студентом роботи до захисту: 21.06.2022

4. Зміст пояснювальної записки за розділами:

- P.1. Нормативно-правове регулювання виконання геодезичних робіт з обмірів споруди з метою побудови ВІМ моделі.
- P.2. Проект геодезичних робіт для виконання обмірів фасадів споруди.
- P.3. Проект геодезичних робіт для виконання обмірів внутрішніх приміщень.
- P.4. Економіка та організація запроектованих робіт та техніка безпеки. Охорона праці

5. Графічний матеріал за розділами:

- P.1. Коротка інформація про об'єкт. Вимоги до точності виконання обмірних робіт. Методи геодезичного знімання.
- P.2. Методика виконання робіт з обмірів фасадів споруди лазерним сканером. Схема розташування станцій знімання. Схема розташування пунктів ЗГРО та методика її створення. Зв'язок ЗГРО та станцій лазерного сканування.
- P.3. Методика виконання робіт з обмірів внутрішніх приміщень споруди за допомогою лазерного сканера. Схема розташування станцій знімання. Методика прив'язки обмірів внутрішніх приміщень до ЗГРО. Методика створення ВІМ моделі.
- P.4. Об'єм робіт та кошторисна вартість. Організація виконання польових робіт.

6. Календарний план виконання роботи: а) наукова частина;
б) практична частина.

Види робіт та їх зміст	Дата виконання
Розділ 1.	09.05.2022
Розділ 2.	23.05.2022
Розділ 3.	30.05.2022
Розділ 4.	03.06.2022
Остаточне оформлення роботи	06.06.2022
Направлення роботи на рецензування, перевірку на плагіат	15.06.2022
Попередній захист роботи на кафедрі	16.06.2022

7. Консультанти розділів атестаційної випускної роботи

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

8. Дата видачі завдання: 04.05.2022

Зав. кафедри ІГ

(підпис)

Дем'яненко Р.А.

(прізвище та ініціали)

Керівник

Підпис керівника підтверджую
(підпис)

Медведський Ю.В.

(прізвище та ініціали)

Студент

Підпис студента підтверджую
(підпис)

Романюк Б.В.

(прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

Вступ.....	8
Розділ 1. Нормативно-правове регулювання виконання геодезичних робіт з обмірів споруди з метою побудови ВІМ моделі	10
1.1. Коротка характеристика об'єкту.....	10
1.2. Законодавча та нормативна база виконання робіт.....	12
1.2.1. Перелік законодавчих та нормативних документів, якими керуються при виконанні обмірів внутрішніх приміщень.....	12
1.2.2. Перелік законодавчих та нормативних документів, якими керуються при виконанні обмірів фасадів споруди.....	12
1.3. Вимоги до точності виконання геодезичних обмірних робіт.....	13
1.3.1. Стандарти визначення точності в ВІМ проектуванні.....	13
1.3.2. Вимоги та допуски при виконанні обмірних робіт.....	15
1.4. Аналіз методів геодезичного знімання споруди для задачі створення ВІМ моделі.....	18
1.4.1. Фотограмметричний	18
1.4.2. Тахеометричне знімання.....	25
1.4.3. Лазерне сканування.....	30
Розділ 2. Проект геодезичних робіт для виконання обмірів фасадів споруди.....	38
2.1. Етапи виконання геодезичних робіт при виконанні обмірів фасадів споруди.....	38
2.2. Методика виконання робіт з обмірів фасадів споруди лазерним сканером.....	41
2.2.1. Рекогносціювання на місцевості.....	41
2.2.2. Розрахунок максимальної відстані від сканера до об'єкту сканування.....	42
2.2.3. Розрахунок точності та вибір приладу.....	43
2.2.4. Визначення місць станцій знімання.....	44

2.2.5. Проектування планово-висотного обґрунтування.....	48
Розділ 3. Проект геодезичних робіт для виконання обмірів внутрішніх приміщень.....	55
3.1. Етапи виконання геодезичних робіт при виконанні обмірів внутрішніх приміщень споруди.....	55
3.2. Методика виконання робіт з обмірів внутрішніх приміщень споруди лазерним сканером.....	57
3.2.1. Рекогносціювання на місцевості.....	57
3.2.2. Розрахунок максимальної відстані від сканера до об'єкту сканування.....	58
3.2.3. Розрахунок точності та вибір приладу.....	58
3.2.4. Визначення місць станцій знімання.....	58
3.2.5. Проектування планово-висотного обґрунтування.....	60
3.3. Методика створення ВІМ моделі.....	61
3.3.1. Створення основних несучих елементів.....	63
3.3.2. Створення внутрішніх та зовнішніх об'єктів.....	70
Розділ 4. Економіка та організація запроектованих робіт та техніка безпеки.	72
4.1. Об'єм робіт та кошторисна вартість.....	72
4.2. Організація виконання польових робіт.....	74
4.3. Безпека праці польових робіт при виконанні інженерно-геодезичних робіт.....	75
Висновок.....	78
Список використаних джерел.....	79
Додатки.....	85

Вступ

Архітектурні пам'ятки є важливою частиною культурної спадщини. Основною умовою їх збереження і відновлення є проведення реставраційних робіт. Для їх виконання необхідно мати детальний і точний фронтальний план споруди. Сьогодні існує багато способів реалізації цієї задачі. Провідними методами впродовж останніх років є використання лазерного сканування та цифрового знімання. Комбінування цих методів має ряд переваг, оскільки лазерне сканування в архітектурі дає можливість дуже швидко провести знімання фасаду й одержати модель об'єкта з деталями розміром в декілька міліметрів, а цифрові зображення дадуть змогу покращити текстуру об'єкта.

Метод лазерного сканування дозволяє створити цифрову модель всього навколишнього простору, представивши його набором точок з просторовими координатами. Основна відмінність від традиційних приладів і методів - набагато більша швидкість вимірювань (5000 вимірювань в секунду - в середньому) і щільність (до десятків точок на 1 кв. см. поверхні). В результаті вимірювань отримуємо хмару точок (від сотень тисяч до декількох мільйонів), що мають координати з точністю від 1 до декількох міліметрів.

Отримання координат точок об'єкта лазерним сканером засноване на використанні полярної системи координат. Горизонтальний та вертикальний кути визначаються оптико-механічною системою сканера. На шляху до об'єкта імпульси лазерного випромінювання проходять через систему дзеркал, які здійснюють покрокове зміщення лазерного променя. Найбільш поширеною є конструкція, що складається з двох рухомих дзеркал. Одне з них відповідає за вертикальне зміщення променя, інше - за горизонтальне. Дзеркала сканера управляються з прецизійних сервомоторів. Зрештою, вони й забезпечують точність наведення променя лазера на об'єкт. Дзеркала відхиляються на задану величину i , таким чином, дозволяють визначити кути, необхідні для знаходження координат. Віддаль отримується так само, як i в безрефлекторному тахеометрі.

Лазерні скануючі системи застосовують для збору даних про геометрію об'єкта культурної спадщини. Результатом роботи лазерного сканера є хмара точок (набір точок з тривимірними координатами). Висока швидкість роботи лазерного сканера дозволяє проводити комплексну зйомку об'єкта культурної спадщини, отримуючи найбільш повну та достовірну інформацію про геометрію об'єкта на конкретний момент часу.

Реалістичну кольорову тривимірну дискретну модель об'єкта культурної спадщини отримують шляхом поєднання даних лазерного сканування і цифровий фотограмметричної зйомки.

Актуальність роботи та загальні відомості про лазерне сканування

Україна має багату історію, висвітлену у великій кількості пам'яток архітектури, що налічують сотню і більше років з моменту їх зведення. Нажаль, на сьогодні велика їх частина потребує проведення реставраційних чи капітальних ремонтних робіт, деякі з них навіть повної реконструкції. З точки зору геодезичного контролю на них необхідно виконати з визначення динаміки осідання споруди та фіксації вигляду її фасаду шляхом створення обмірних креслень.

Сьогодні існує багато способів виконання цих задач. Провідними методами впродовж останніх років є використання лазерного сканування та цифрового знімання. Комбінування цих методів має ряд переваг, оскільки лазерне сканування в архітектурі дає можливість дуже швидко провести знімання фасаду й одержати модель об'єкта з деталями розміром в декілька міліметрів, а цифрові зображення дадуть змогу покращити текстуру об'єкта.

Створення обмірних креслень будівель, споруд необхідне для:

- створення та відновлення креслень, що відображають стан будівлі в даний проміжок часу;
- відцифрування креслень;
- отримання точних розмірів для планування та проведення реставраційних робіт;
- складання планів будівництва споруд.

Розділ 1. Нормативно-правове регулювання виконання геодезичних робіт з обмірів споруди з метою побудови ВІМ моделі

1.1. КОРОТКА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ

Об'єктом дипломної роботи обрано історичну споруду в Великобританії за адресою 21 Дадли-роуд, Брірлі Хілл.

Клімат помірний морський з середньою максимальною температурою близько 21,3 °С влітку (липень) і близько 6,7 °С взимку (січень). Дадли-роуд є більш сніжним містом в порівнянні з іншими великими агломераціями Великої Британії завдяки своєму внутрішньому розташуванню і порівняно великій висоті (140 метрів над рівнем моря).

Існуюча будівля розташована на території площею 360 кв.м. Будівля двоповерхова, має комбіновану форму покрівлі, стіни цегляні. Навколо вікон присутні архітектурні елементи.



Рис. 1.1.1. Схема розташування об'єкту

Щільність забудови не висока, будівлі поруч в більшості своїй низькоповерхові, висотою до 3 – 4 поверхів. Вздовж доріг проходять лінії

електро-передач. Поблизу, на узбіччях зелені насадження та дерева присутні в незначній кількості.

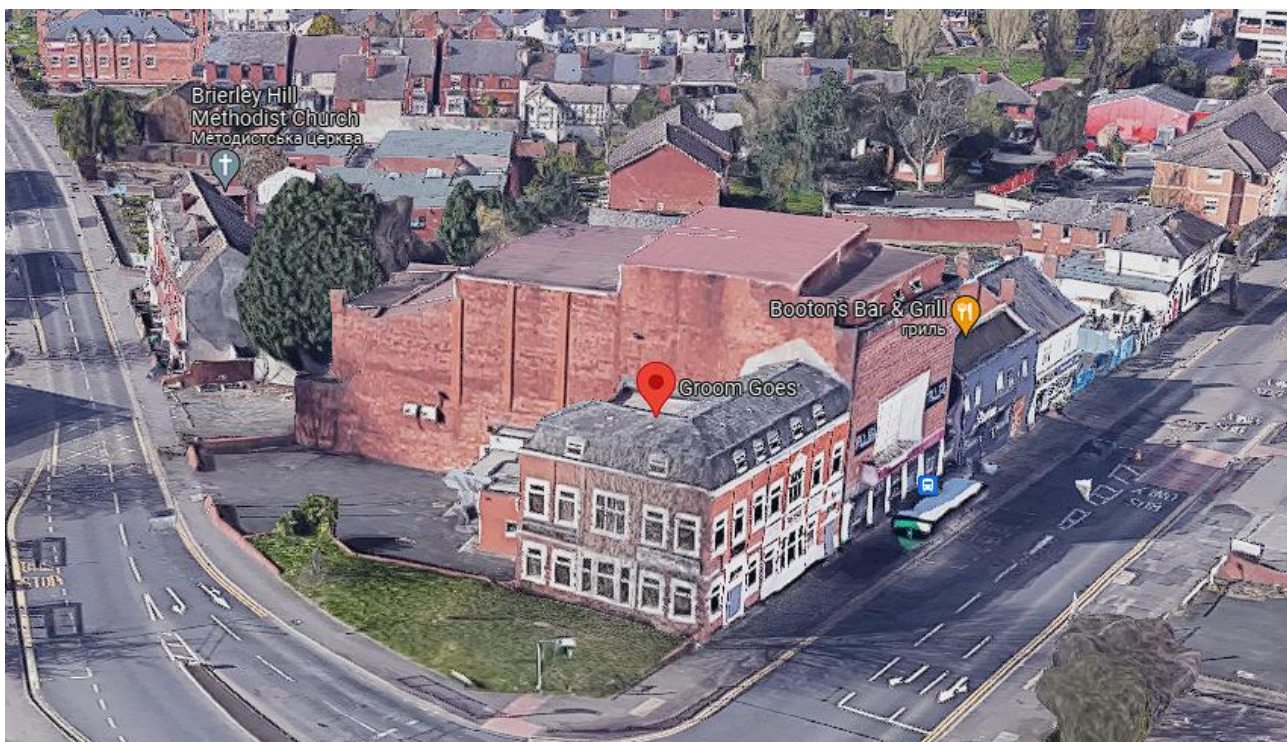


Рис. 1.1.2. Загальний вигляд об'єкту та оточуючих територій

1.2. ЗАКОНОДАВЧА ТА НОРМАТИВНА БАЗА ВИКОНАННЯ РОБІТ

1.2.1. Перелік законодавчих та нормативних документів, якими керуються при виконанні обмірів внутрішніх приміщень

- Наказ 24.05.2001 № 127 Державного комітету будівництва, архітектури та житлової політики України Про затвердження Інструкції про порядок проведення технічної інвентаризації об'єктів нерухомого майна
- Наказ Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України від 26.07.2018 року №186 Про внесення змін до Інструкції про порядок проведення технічної інвентаризації об'єктів нерухомого майна
- ДБН А.2.2-6-2008. Склад, зміст, порядок розроблення, погодження і затвердження науково-проектної документації для реставрації об'єктів нерухомої культурної спадщини

1.2.2. Перелік законодавчих та нормативних документів, якими керуються при виконанні обмірів фасадів споруди

- ДБН А.2.1-1-2014
- ДБН В.1.3-2:2010
- Наказ про затвердження Порядку проведення містобудівного моніторингу На виконання статті 23 Закону України "Про регулювання містобудівної діяльності"
- ГОСТ Р 1.0-2012

1.3. ВИМОГИ ДО ТОЧНОСТІ ВИКОНАННЯ ГЕОДЕЗИЧНИХ ОБМІРНИХ РОБІТ

1.3.1. Стандарти визначення точності в BIM проектуванні

Перед початком камеральних робіт по створенню BIM-моделі необхідно визначитися з рівнем деталізації – LOD, та точністю моделі. Рівень деталізації визначає замовник. Точність моделі залежить від цілі для якої створюється модель, вимог замовника, рівня деталізації, та можливостей програмного забезпечення.

З поняттям «LOD» проектувальники зазвичай зустрічаються, коли отримують вимоги до інформаційної моделі або сімейства. Найчастіше вони виглядають як LOD300, LOD350, LOD400, але що криється за цими позначеннями?

LOD (англ. LOD – Level of Development) – рівень опрацювання. Система поділу моделі по LOD потрібна для оптимізації трудовитрат, щоб не перенасичувати модель інформацією там, де це не потрібно. LOD може відноситися як до всієї моделі в цілому, так і конкретного її елемента.

LOD (англ. LOD – Level of Development) – рівень опрацювання. Система поділу моделі по LOD потрібна для оптимізації трудовитрат, щоб не перенасичувати модель інформацією там, де це не потрібно. LOD може відноситися як до всієї моделі в цілому, так і конкретного її елемента.

Прийняті рівні опрацювання моделі/компонентів моделі LOD100-LOD500:



Рис. 1.3.1.1. Приклад рівнів LOD на відображенні плану кімнати

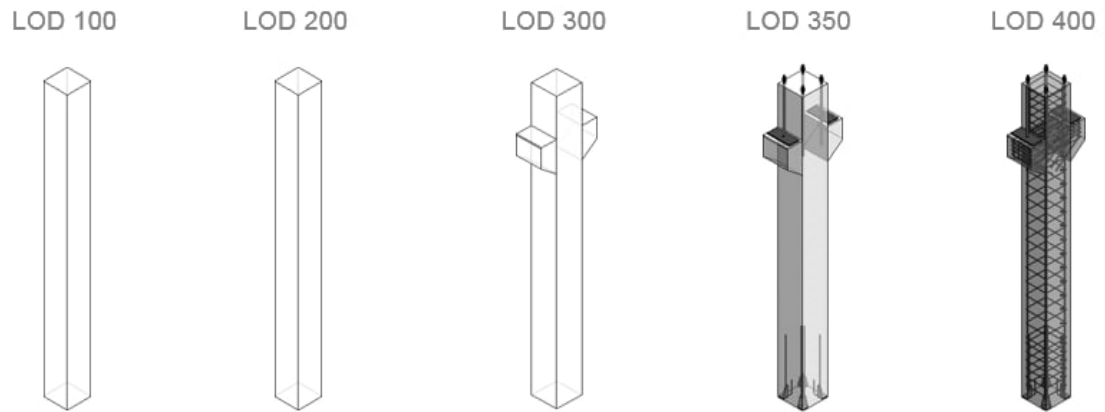


Рис. 1.3.1.1. Приклад рівнів LOD на відображенні конструкції

Використання системи рівня опрацювання допоможе всім учасникам проекту однаково розуміти, які завдання стоять перед ними і як їх досягти. Також слід зазначити, що LOD умовно можна розділити на LODg (рівень опрацювання геометрії) і LODi (рівень опрацювання інформації). Для спрощення це може виглядати так:

LOG (англ. LOG – Level of Geometry) – рівень деталізації геометрії

LOD100 – довжина, ширина, висота, об'єм, площа;

LOD200 - довжина, ширина, висота, об'єм, площа, розташування, орієнтація у просторі;

LOD300 – візуальна схожість з реальним об'єктом;

LOD400 - точні розміри та матеріали;

LOD500 - габарити, кріплення, точні розміри, посадкові місця, складні форми.

LOI (англ. LOI – Level of Information) – рівень опрацювання інформації

- модель/артикул;
- характеристики;
- дата монтажу;
- термін служби;
- постачальник/обслуговуюча організація;
- будь-яка інша інформація. [1]

1.3.2. Вимоги та допуски при виконанні обмірних робіт

Незалежно від складу обмірних і інженерно-геодезичних робіт, в обов'язковому порядку рекомендується проводити роботи по створенню, розвитку і закріпленню робочої опорної геодезичної мережі, на базі якої проводять вимірювання і яка дозволяє виконувати всі види робіт із збереження об'єкта культурної спадщини в єдиній системі координат і висот .

Місцезнаходження реперів вибирають з урахуванням їх максимального збереження і погоджують із замовником. Для мінімального впровадження знаків геодезичної мережі в об'єкт бажано, по можливості, виносити їх за його межі. Якщо на об'єкті або в безпосередній близькості від нього вже присутні елементи опорної геодезичної мережі, відповідні точності планованих робіт, необхідно включати їх в створювану робочу геодезичну мережу після обов'язкової перевірки.

Для завдань фіксації поточного стану об'єкта культурної спадщини (збереження вигляду і геометрії) на конкретний момент часу зберігаються тривимірні точкова модель і / або кольорові ортофотоплани в форматі SPO.

Таблиця 1.

Вимоги до точності обмірних креслень

Масштаб креслення	Вид креслення	Гранична похибка, мм
1:1-1:20	Креслення деталей, шаблонів	1-2
1:50	Креслення планів, розрізів, фасадів	2-5
1:100	Креслення планів, розрізів, фасадів	10-20
1:200	Обзорні креслення планів, розрізів, фасадів	30-50
1:500	Схеми	200-300

Методом лазерного сканування виконується зйомка елементів будівель та споруд – фасадів, внутрішніх приміщень, автошляхів тощо. Гранична похибка визначення координат та висот точок не повинна перевищувати **6 мм**

на відстань в **50 м**. Крок сканування (відстань між точками) не повинен перевищувати **50 мм**. (згідно ДБН А.2.1-1-2014)

Створення BIM – моделі може переслідувати різні цілі. Це можуть бути великі моделі цілих кварталів з рівнем деталізації LOD100 та LOD200, для планування нових споруд та суттєвої реконструкції значних частин інфраструктури. Або для визначення енергоефективності та аналізу руху сонця та сонячного світла і його впливу (Solar Analysis) на оточуючі будівлі. Solar Analysis надає в контексті результати аналізу сонячної радіації, щоб допомогти відстежувати сонячну енергію протягом усього періоду функціонування та використання будівлі або споруди. Зазвичай для таких цілей допустиме відхилення становить в межах 50-100мм.

Така точність дозволяє створити максимально оптимальне співвідношення витрат праці та часу то ціни.

Створення архітектурних моделей з рівнем деталізації LOD300 та LOD400 в робочій практиці є самою розповсюдженою опцією. Такі моделі відтворюють існуючу будівлю або споруду доволі точно, оскільки граничне відхилення в середньому становить 25мм, і можуть використовуватися для реконструкції , планування нового устаткування або збереження історичної спадщини.

Також моделі з рівнем деталізації LOD300 та LOD400 використовуються інженерних споруд та промислових об'єктів певних промислових. Для таких моделей зазвичай допустиме відхилення становить в середньому становить 5-10мм .

Щодо точності архітектурних та інженерних BIM-моделей, як було зазначено вище становить в середньому 5-25мм. Ці значення обумовленні деякими факторами. Перш за все це точність хмари точок. Точність хмари точок залежить від точності сканера та похибки зшивки станцій сканування в єдину хмару.

Також треба враховувати можливості програмного забезпечення в якому створюється BIM-модель. Оскільки програмне забезпечення Autodesk Revit перш за все було розроблено для проектування нових споруд, тобто вони

створюються «рівними» або якщо в проекті присутні складні форми вони мають чіткий математичний опис.

Будівлі або споруди, для яких створюються BIM – моделі завжди будуть мати деформації та відхилення від вертикалі та горизонталі, які обумовлені або похибками при будівництві або деформаціями через вік споруди.

Деформації які обумовлені віком завжди є самими складними для відтворення, тому що їх неможливо чітко описати математично і відтворити з високою точністю.

Для прикладу можна сказати, що саме з подібних причин, форма планети Земля було спрощена до еліпсу, оскільки її поверхня занадто складна аби її можна було описати чітким математичним рівнянням. Так сама ситуація складається і з BIM-моделями. Звичайно можна створити модель з точністю хмари – точок, але затрати праці, часу та фінансової складової вийдуть за межі практично будь-якого кошторису. Тому похибка в 25мм є оптимальним співвідношенням між параметрами ціна-якість. [2]

1.4. АНАЛІЗ МЕТОДІВ ГЕОДЕЗИЧНОГО ЗНІМАННЯ СПОРУДИ ДЛЯ ЗАДАЧІ СТВОРЕННЯ ВІМ МОДЕЛІ.

Серед багатьох методів геодезичного знімання споруд як із зовні так і з середини можна виділити три найбільш застосовувані методи: тахеометричне знімання, фотограмметричне знімання та лазерне сканування. Кожен з цих методів має свої недоліки та переваги, їх відображено на рис.1.4.1

Тахеометричне знімання	Фотограмметрія	Лазерне сканування
недоліки		
<ul style="list-style-type: none"> • низька деталізація • важко отримати ліпнину і тп • складна конфігурація геодезичної основи • необхідність абрису 	<ul style="list-style-type: none"> • «шумна» хмара точок • сильна залежність від освітлення і погоди • великі помилки в темних кутках та затінених частинах • складна конфігурація геодезичної основи 	<ul style="list-style-type: none"> • необхідність великої кількості станцій • точність вимірювань сильно залежить від відстані
переваги		
<ul style="list-style-type: none"> + постійність точності вимірювань + висока точність окремого виміру 	<ul style="list-style-type: none"> + висока деталізація + легкість вимірювань + відсутність абрису + висока наочність 	<ul style="list-style-type: none"> + висока деталізація + висока точність окремого виміру + автоматизація обробки + висока наочність + висока точність хмари точок і низький «шум»

Рис.1.4.1 Недоліки та переваги найпоширеніших методів геодезичного знімання споруди

1.4.1. Фотограмметричний метод

Розвиток цифрових технологій та їх використання у різних сферах розвитку суспільства змінив підходи до багатьох галузей науки та освіти, зокрема, і до сфер будівництва, архітектури, які почали набувати нові функції та властивості, що дозволило перейти на якісно новий рівень опису, зберігання та обробки матеріалів дослідження. Впровадження сучасних геодезичних методів вимірювання просторового положення разом із цифровою фотозйомкою значно покращило практику прикладних досліджень. Методи 3D

фотограмметрії дозволяють здійснювати збір даних прикладних досліджень більш оперативно та повно.

Тривимірна фіксація об'єктів має низку переваг перед традиційними методами документування, оскільки дає можливість створювати моделі, що повністю зберігають просторові характеристики досліджуваних об'єктів. Тривимірна модель дозволяє досліднику детально вивчати об'єкт з усіх кутів і ракурсів, навіть якщо він ніколи не бачив його на власні очі. Крім того, сучасне прикладне програмне забезпечення, що оперує тривимірними цифровими моделями об'єктів, дозволяє проводити просторовий та статистичний аналіз об'єкту дослідження. [4]

Розвиток фотограмметрії в значній мірі визначається прогресом обладнання, обчислювальної техніки і суміжних геоінформаційних технологій. Особливості і проблеми, які виникають при використанні цифрової техніки з метою фотограмметричної зйомки, є актуальним питанням на сучасному етапі розвитку наземної фотограмметрії, яка безперечно стає цифровою.

Аналіз останніх досліджень. Багато авторів досліджували різні методи недорогого 3D-документування культурної спадщини на основі зображень [5,6]. В роботі [7] було протестовано недорогий підхід до реконструкції археологічних об'єктів за допомогою Agisoft Photoscan. Було отримано високоточні результати, хоча наголошувалося, що технічні знання та навички важливі. В дослідженні [8] оцінили практичні можливості та переваги недорогого моделювання на основі зображень для збереження спадщини в Непалі після руйнівного землетрусу 2015 року. Автори [8] дійшли висновку, що це має велике значення, враховуючи значну кількість об'єктів культурної спадщини, які перебувають у небезпеці по всьому світу, документування яких неможливо вирішити без БПЛА або засобів наземної фотограмметрії. Є також численні дослідження щодо моделювання на основі зображень для складних сучасних будівель. Наземну фотограмметрію порівнювали з лазерним скануванням для точного моделювання архітектурних об'єктів автори роботи [9]. Попри велику кількість проведених досліджень, актуальність і новизна

застосування методів фотограмметрії в різноманітних галузях залишається на високому рівні.

Постановка завдання. Сучасне інформаційно-комп'ютерне моделювання та проектування для вирішення питань досліджень різних об'єктів, від об'єктів археології до об'єктів культурної спадщини, від окремих фрагментів фасадів будівель до комплексної тривимірної реконструкції будівель у містобудуванні та архітектурі, потребує оперативного одержання високоточних даних про поверхню об'єкту дослідження.

Для тривимірної фіксації об'єктів застосовуються дві різні технології – лазерне сканування та наземна фотограмметрія. В порівнянні з наземною фотограмметрією лазерне сканування забезпечує кращу точність, проте вимагає застосування високовартісного обладнання та спеціального програмного забезпечення. Крім того, застосування лазерних сканерів у польових умовах потребує спеціальних навичок та знань. 3D фотограмметрія дозволяє отримати придатні для подальшого використання тривимірні моделі лише за допомогою цифрової камери та ПК зі спеціалізованим програмним забезпеченням.

Метою даної роботи є апробація методики 3D фотограмметрії для побудови тривимірних моделей об'єктів на конкретному матеріалі.

Виклад основного матеріалу. Фотограмметрія вивчає явища, форми й положення різних предметів у просторі, об'єкти та їх розміри шляхом вимірювань їх фотографічних зображень [10]. Предметом фотограмметрії є вивчення властивостей фотозображення, методів його отримання і вимірювання, розробка приладів для вимірювання і перетворення фотозображень.

Найбільш широке застосування фотограмметрія має в геодезії і топографії при картографуванні земної поверхні, а також у космічних дослідженнях. В архітектурі фотограмметрія застосовується з метою визначення форми, розмірів, просторового положення і якісних характеристик різних архітектурних об'єктів для вивчення і реставрації будівель, особливо тих, які

мають історичне значення. Об'єкти досліджуються щонайменше за двома знімками об'єкту з різних точок простору (стереопари) безконтактним визначення координат точок об'єкта і на основі відтворення моделі об'єкта. Використання комп'ютера та програмних засобів для ефективної обробки фотограмметричних матеріалів є їх важливою властивістю.

Розвиток обчислювальної техніки надав потужний імпульс розвитку методів фотограмметрії і зробив можливим автоматизовану обробку зображень за допомогою персонального комп'ютера, що збільшило її доступність та суттєво розширило межі технології.

На даний момент поєднання цифрової фотозйомки та спеціалізованого програмного забезпечення дозволяє створювати деталізовані тривимірні моделі як окремих об'єктів (залишків споруд, поховань тощо), і цілих ділянок місцевості [11]. Таким чином, незважаючи на те, що сам термін «фотограмметрія» має досить широке значення, ми розумітимемо під ним метод побудови тривимірних моделей об'єктів за допомогою комп'ютерної обробки цифрових знімків.

Процес отримання тривимірної моделі за допомогою фотограмметрії можна розділити на наступні етапи (рис. 1.4.1.1):

- Збір даних;
- Попередня обробка;
- Орієнтування знімків;
- Вимірювання та аналіз.

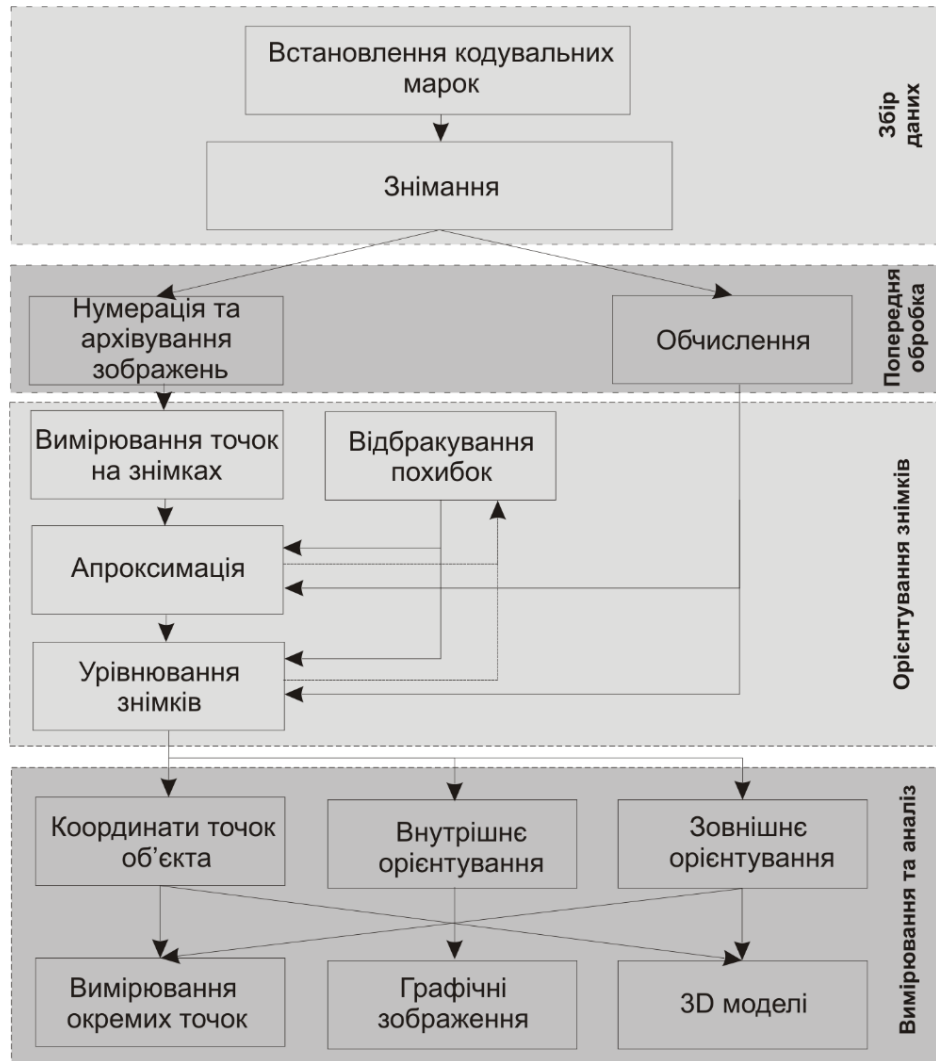


Рис. 1.4.1.1 Процедура отримання та аналізу зображень

На попередньому етапі здійснюється вибір спеціальних (контрольних) марок за допомогою яких визначається зовнішня система координат та визначається взаємне положення точок об'єкта на зображеннях.

Такі марки наносяться (приклеюються) на об'єкт зйомки в місця, де необхідно виконати вимірювання координат. При цьому марки повинно бути видно як мінімум з двох точок зйомки. Після нанесення мішеней та маркерів, що визначають контрольні точки, проводиться зйомка об'єкта з різних сторін та під різними кутами. Приклад контрольних марок наведено на рис. 1.4.1.2.



Рис. 1.4.1.2. Кодувальні марки

На етапі зйомки здійснюється кілька серій фотографій, що ніби «обплітають» об'єкт і покривають його поверхню з усіх ракурсів (рис. 1.4.1.1). Кожна наступна фотографія серії повинна перетинатись (накладатись) з попередньою як мінімум на 30%, що дозволить програмному забезпеченню об'єднати знімки. Оскільки при розрахунку геометрії цифрової моделі використовується метод тріангуляції, тому кожна точка об'єкта повинна бути як мінімум на трьох фото. В результаті застосування операторів виділення точок інтересу для кожного знімку формується неструктурований список точок зображення (їх координати та значення показника інтересу) в програмному забезпеченні. Подальший аналіз цих точок дозволяє виділити однорідні властивості об'єкта та видалити невідповідні елементи зображень.

Співставлення точок на основі двох областей зображення може здійснюватися у наступних випадках:

- одночасне співставлення точки на декількох зображеннях;
- одночасне співставлення множини точок на множині зображень;
- долучення до розгляду геометричних умов в просторі зображень та просторі об'єкту;
- включення до розгляду цілісності моделі об'єкта.

Чим більше таких точок буде знайдено, тим точніше буде цифрова модель.

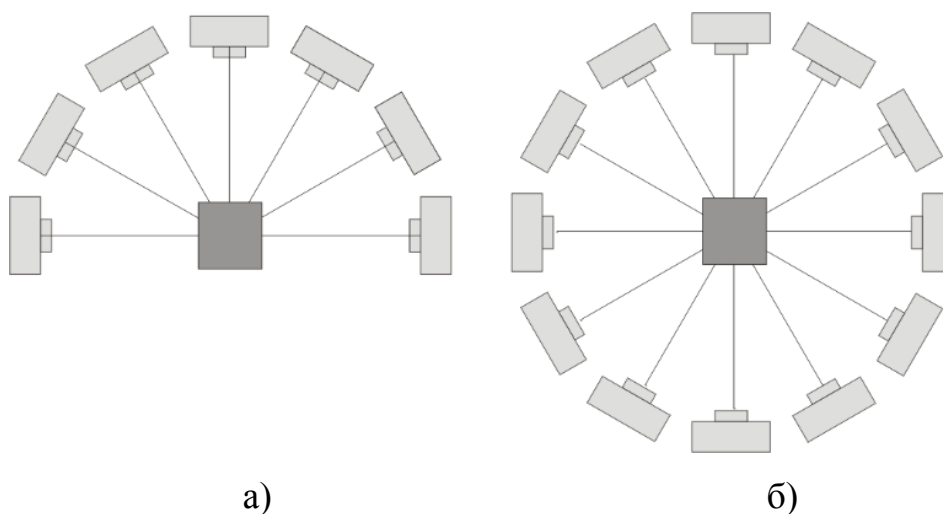


Рис. 1.4.1.3. Позиції цифрової камери під час зйомки об'єкта: а – вид збоку; б – вид зверху.

Після зйомки достатньої кількості серій загального плану, які дозволяють захопити геометрію об'єкта, необхідно додатково крупним планом зняти всі значущі деталі, щоб вони правильно відобразилися на готовій моделі. Для отримання найкращих результатів об'єкт має бути освітлений рівномірно, без жорстких тіней чи відблисків. При польових зйомках найкращий результат можна отримати під час зйомок у похмуру погоду, оскільки саме при таких умовах освітлення дозволяє досягти бажаної відсутності тіней і відблисків.

Отримані знімки завантажуються в спеціальне програмне забезпечення для виконання орієнтування та обробки зображень. При цьому здійснюється ідентифікація та вимірювання координат контрольних марок, ідентифікація та вимірювання зв'язуючих точок об'єкта; обчислення початкових значень невідомих величин внутрішнього, зовнішнього та взаємного орієнтування а також координати точок об'єкта та їх апроксимація; урівнювання невідомих величин внутрішнього, зовнішнього та взаємного орієнтування; визначення та видалення великих похибок, що виникають при вимірюванні точок зображення.

На основі отриманої хмари точок об'єкта здійснюється побудова каркасної та текстурованої моделей для подальшої цифрової обробки та аналізу. При побудові каркасної моделі на границі об'єкту можуть спостерігатись «артефакти» неіснуючих об'єктів, які необхідно в напівавтоматичному режимі вилучити. На основі щільної хмари точок будується тривимірна тріангуляційна модель, що складається із множини полігонів. На основі тривимірної тріангуляційної каркасної моделі та стереопар зображення на завершальному етапі формується реалістична текстурна модель об'єкту.

Подальший аналіз тривимірної моделі можна здійснювати якісно і кількісно. Для якісної оцінки можливо згенерувати цифрові зображення моделі у просторі під різними кутами або тривимірні зображення у різноманітних форматах вузькоспеціалізованого програмного забезпечення. Для кількісної

оцінки каркасну модель об'єкту можливо експортувати в САПР та ГІС з подальшим статистичним та просторовим аналізом моделі.

1.4.2. Тахеометричне знімання

Найбільш підходящим для цих цілей приладом є електронний тахеометр з хорошими показниками роботи в безвідбивному режимі, наприклад, тахеометр Nikon серії NPL, оптика далекоміра якого суміщена із системою фокусування зорової труби. Важливою вимогою, що висувається до обладнання, є також наявність двоосьового компенсатора нахилу осі обертання приладу.

Особливістю зазначеного приладу є виробництво вимірювання відстаней саме на той об'єкт, на який сфокусована зорова труба, без побоювань отримати помилковий результат через вимірювання на об'єкти, що потрапляють у поле зору (листя, гілки дерев, будівельні риштування тощо). Недоліком такого приладу є необхідність фокусування зорової труби перед кожним вимірюванням, що дещо утруднить роботу при великих кутах нахилу труби або вимірювання поблизу будівлі.

Існує кілька усталених способів виробництва фасадних зйомок, що різняться між собою форматом остаточного представлення отриманих даних. Найбільш простим є спосіб незалежної зйомки окремих фасадів будівлі. Цей метод не вимагає створення єдиного планового обґрунтування навколо об'єкта досліджень.

Спосіб незалежної зйомки фасадів доцільно застосовувати при зйомці невеликих будівель і споруд, досить простих за конфігурацією і позбавлених будь-яких архітектурних навантажень.

Прилад рекомендується встановлювати приблизно посередині фасаду та уникати вимірювань під гострим кутом до площини фасаду: це може суттєво знизити точність унаслідок некоректної роботи далекоміра у безвідбивному режимі. Відстань до об'єкта, що знімається, вибирають з урахуванням зручностей зйомки високих елементів фасаду.

Важливо визначитися з орієнтуванням системи координат, оскільки від цього багато в чому залежить обсяг трудових витрат при обробці даних. Вісь «Y» доповнювала систему координат до лівої. Така орієнтування може бути досягнута, якщо перед виробництвом зйомки виконати зворотну засічку по кутах фасадної частини, що знімається, привласнивши йому з кутів координати $(0, 0)$ а протилежному – $(b, 0)$, де b – базис, побудований на фасаді.

Щоб побудувати базис на фасаді, на його кутах, бажано на одному горизонті намічають дві точки і увійшовши в режим вимірювання неприступної відстані визначають відстань між цими точками. Ця відстань і буде шуканим базисом.

Зйомку фасаду виконують із довільної точки стояння приладу. Для визначення координат точки стояння слід увійти в режим зворотного засічення і послідовно ввести координати вихідних пунктів $(0, 0)$ і $(b, 0)$. присвоїти значення «схід», позначкам – значення «північ», а ординатам – «висота». Таким чином, при імпорті отриманих даних до редактора векторних даних ми отримуємо «покладений на бік» відзнятий фасад будівлі. У разі графічної обробки даних у декартовій системі координат (встановлюється за умовчанням у САПР AutoCAD) абсциси не змінюють свого значення, вісь аплікату замінюється віссю ординат. Отже, теоретично, координати по осі «Y» (до перетворення) показують відхилення фасаду від вертикалі та його неплоскостність і, за бажання, можуть не відображатися. Результатом обробки результатів вимірювань є розгорнення фасадів будівлі.

При необхідності визначення відхилення фасаду від вертикальної або проектної площини рекомендується перед виконанням орієнтування приладу розбити безпосередньо на фасаді базис і виконати зворотне засічення щодо нього, як це описано вище. При обробці результатів вимірювань всі відхилення фасаду від вертикалі будуть показані щодо цього базису. Це значно полегшить подальше проведення налагоджувальних робіт і позбавить необхідності виконання додаткових обчислень під час обробки (приклад розгорнення фасаду

зведеної монолітної каркасної будівлі з зазначеними відхиленнями від вертикалі наведено на рис. 1.4.2.1.).

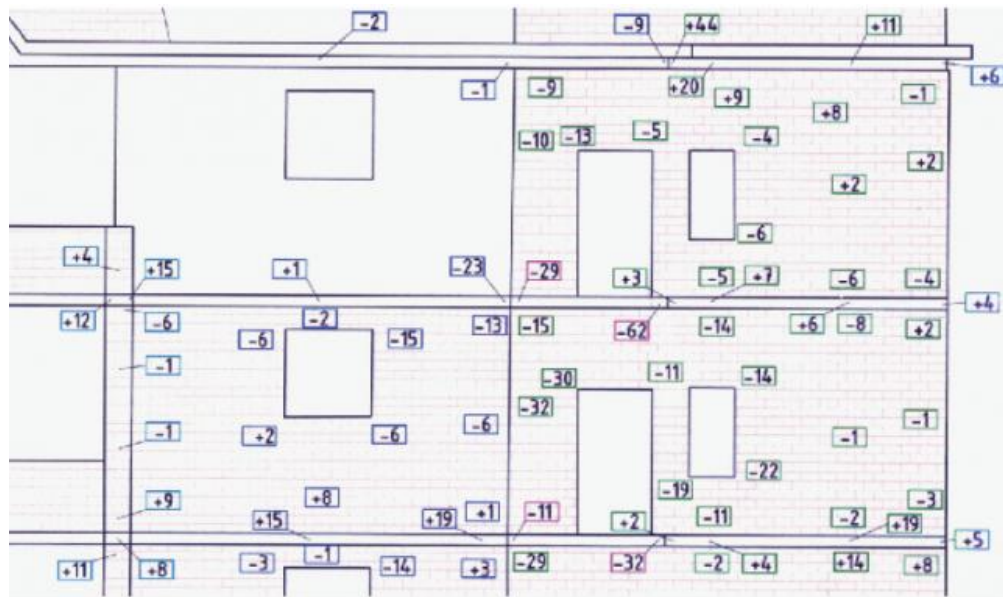


Рис. 1.4.2.1. Фрагмент розгорнення фасаду з відхиленнями від вертикалі цегляної кладки та бортів перекриттів

Другий метод виробництва фасадних зйомок набагато зручніший з точки зору виконання геодезичних робіт, наочніший з точки зору інформативності, але більш складний в обробці результатів вимірювань. Принципова відмінність другого способу полягає в необхідності створення планово-висотного обґрунтування навколо об'єкта досліджень, а зйомка всіх площин фасадів проводиться в єдиній системі координат і висот, обробка даних виконується в тривимірному режимі, внаслідок чого відпадає необхідність виконувати перетворення координат. Обґрунтування створюється у вільній системі координат. Як вихідна висотна позначка, як правило, використовується або значення позначки чистої підлоги будівлі, (у разі нового будівництва), або позначка нижчої точки рельєфу, що примикає до будівлі, якщо йдеться про реконструкцію існуючої будівлі. Після розвитку планово-висотного обґрунтування з пунктів планово-висотного обґрунтування проводиться зйомка елементів фасаду, що цікавлять.

Обробляє результати фасадної зйомки в AutoCAD.

Обробка результатів подібної зйомки заслуговує на окрему увагу. Основним засобом обробки результатів зйомки є САПР AutoCAD.

Після імпорту в AutoCAD буде отримано довільно зорієнтовану хмару точок, що утворюють межі фасадів, прорізів та стін (показано на рис. рис. 1.4.2.2). На виді зверху необхідно зорієнтувати ці точки таким чином, щоб один із фасадів споруди належав осі «ОХ». Це спростить процес обробки. Після розвороту групи точок обробку та опис фасадів найзручніше вести в ізометричних видах в режимі ортогональних побудов (Ortho), що полегшує ідентифікацію різних точок. В результаті опису всіх знятих точок виходить повноцінна тривимірна модель фасадів будівлі з нанесеними отворами та іншими необхідними елементами.

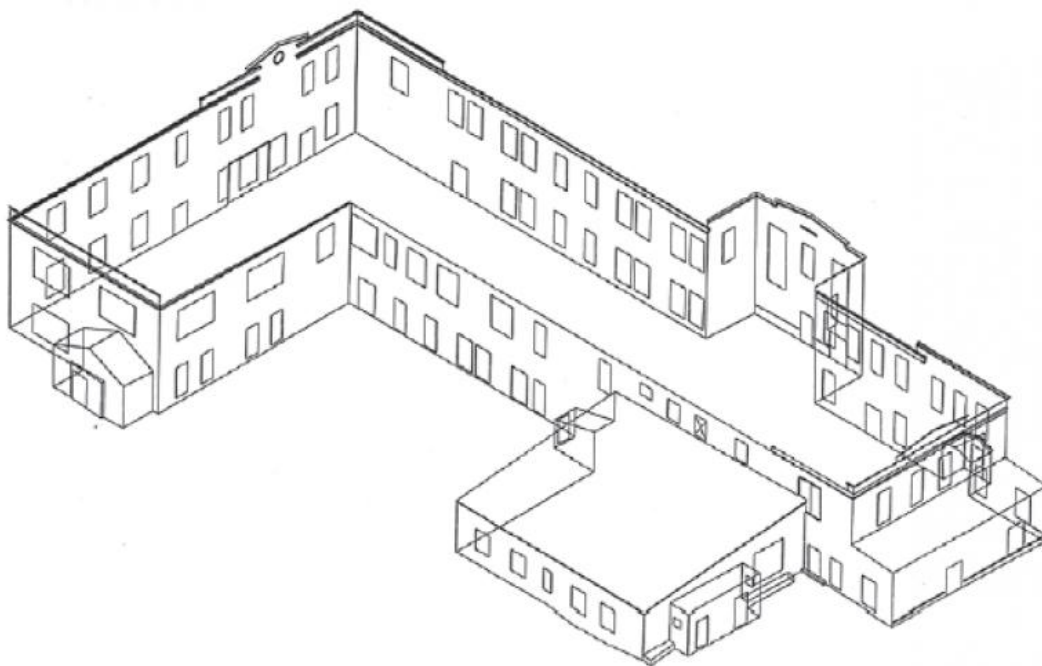


Рис. 1.4.2.2. Тривимірна модель фасадів будівлі після обробки

Результат детальної обробки хмари точок окремого фасаду, показаного на рис. 929 наводиться на рис. 1.4.2.3. Час, необхідний обробки зйомки обсягом близько 2500 точок (такий обсяг робіт приблизно відповідає будівлі школи висотою 5 поверхів 50-60 рр. будівлі) – 1 – 1,5 робочих дня. При цьому, якщо фасад будівлі не обтяжений декоративними елементами, така тривимірна модель точності та інформативності практично не поступатиметься моделі, отриманої за допомогою лазерного сканування. Модель будівлі є дуже

наочним, докладним та інформативним результатом зйомки практично будь-якого фасаду і в руках проектувальника стане незамінним інструментом при розробці проекту монтажу фасадів.

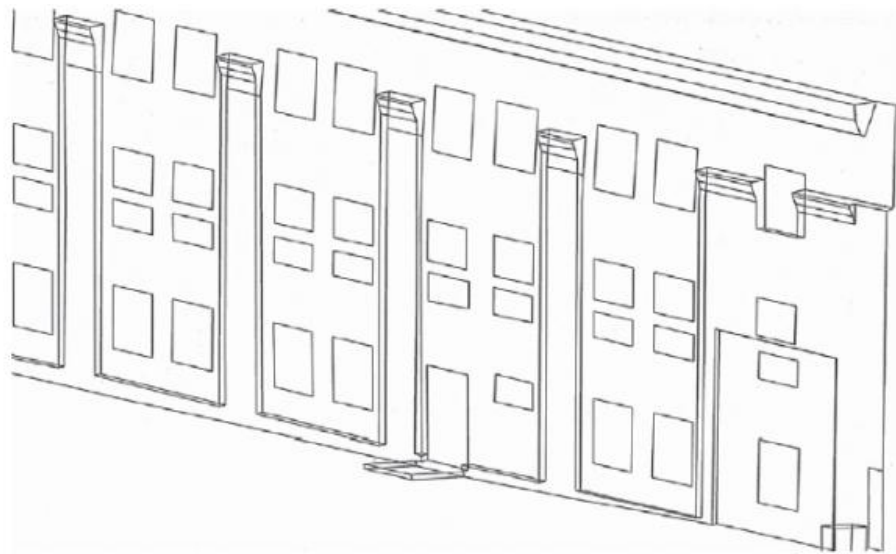


Рис. 1.4.2.3. Тривимірний модель окремого фасаду

Тривимірний модель не може повноцінно показати всі геометричні параметри архітектурних елементів будівлі. Відповідно, у зв'язку з цим виникає потреба перетворити тривимірний креслення на двомірний. Можливості редакторів векторних даних дозволяють легко робити подібні маніпуляції. Процес перетворення полягає у поділі на вигляді зверху тривимірної моделі на окремі складові її фасадні частини та розвороті та вибудовуванні всіх фасадних площин в одну лінію, паралельну осі «ОХ». Таким чином, на вигляді збоку буде отримана розгортка фасадів, на якій можна відобразити всі необхідні дані.

1.4.3. Лазерне сканування

На сьогоднішній день лазерні сканери виготовлять ряд фірм геодезичного приладобудування, а саме: Leica Geosystems, Topcon, Trimble, Zoller + Froehlich, RIEGL. Всі вони намагаються задовольнити вимоги користувачів щодо технічних можливостей лазерних сканерів, уважно слідкують за тенденціями ринку геодезичних послуг і відразу реагують на їх зміни. В даний час, на нашу думку лазерні сканери за функціональними можливостями доцільно розділити на дві групи: автономні та інтегровані.

- **Автономні** – це клас лазерних сканерів, що у своїй комплектації мають всі стандартні функції та можливості роботи. До них відносяться практично всі сучасні лазерні сканери.
- **Інтегровані** – це клас лазерних сканерів які крім стаціонарних функцій мають додаткові можливості, такі як: інтегрований GPS – приймач, цифрова камера з високою роздільною здатністю, та інтернет браузер.

Аналізуючи можливості лазерних сканерів можна зробити висновок, що технічне та програмне забезпечення у приладів різних фірм практично однакове але можливості та якість виконаної роботи дещо відрізняється. Якщо розглянути детально то до основних параметрів лазерних сканерів можна віднести: точність вимірювання кутів та віддалей, швидкість сканування, діапазон сканування, поле зору у вертикальній та горизонтальній площинах, передача даних та обробка отриманих результатів.

У більшості моделей сканерів використовують імпульсний лазерний віддалемір та конструкцію з двома рухомими дзеркалами для зміщення променя у вертикальній та горизонтальній площинах.

Точність вимірювання кутів та ліній є одним із найважливіших параметрів при оцінці лазерного сканера. За цим параметром лазерні сканери в основному залежать від точності роботи серводвигунів, які переміщують дзеркала, забезпечуючи точність скерування лазерного променя на об'єкт. Якщо точність вимірювання задається великою то швидкість сканування знижується і навпаки.

Швидкість сканування є важливим параметром, оскільки впливає на час та об'єми роботи. На сьогодні сканери можуть досягати швидкості до 500000 пунктів/сек., крім того цей параметр можна регулювати в залежності від потреби.

Наступним, не менш важливим параметром, є відстань сканування, яка також впливає на терміни виконання роботи і залежить насамперед від поверхні, на яку проводиться вимірювання, тобто від відношення інтенсивності відбитого сигналу до вихідного – так званого альбедо. Чим темніша поверхня, тим меншою буде інтенсивність відбитого сигналу, і, відповідно, меншою буде і відстань сканування. Тому варто звертати увагу, при якому альбедо були отримані заявлені максимальні віддалі вимірювання.

3D лазерні сканери можна додатково класифікувати за принципом проведення вимірів: імпульсні та фазові.

- **Імпульсні** сканери мають перевагу в дальності вимірювань,
- **Фазові** сканери мають перевагу у швидкості (на порядок), але втрачають точність зі зростанням віддалі до об'єкту, тому зазвичай застосовуються для зйомки інтер'єрів або замкнутих просторів (тунелів, печер тощо).

Ще одним важливим параметром класифікації сканерів є сфера їх застосування:

- **Фасадні** сканери мають перевагу в дальності і швидкості вимірювань, але мають обмежену зону сканування. Основна область застосування фасадних 3D сканерів - зйомка відкритих ділянок місцевості і зовнішньої поверхні великомасштабних об'єктів (фасадів будівель і споруд) яка виконується зазвичай з декількох станцій.
- **Інтер'єрні** сканери мають максимально широку зону сканування, але поступаються в дальності вимірювань, тому зазвичай застосовуються для зйомки інтер'єрів або невеликих замкнутих просторів (тунелів, печер тощо).

Робота імпульсних та фазових сканерів ґрунтується на принципі роботи

імпульсних та фазових віддалемірів. Принцип дії оптичної триангуляції лазерних сканерів зображено на рис.1.4.3.1.

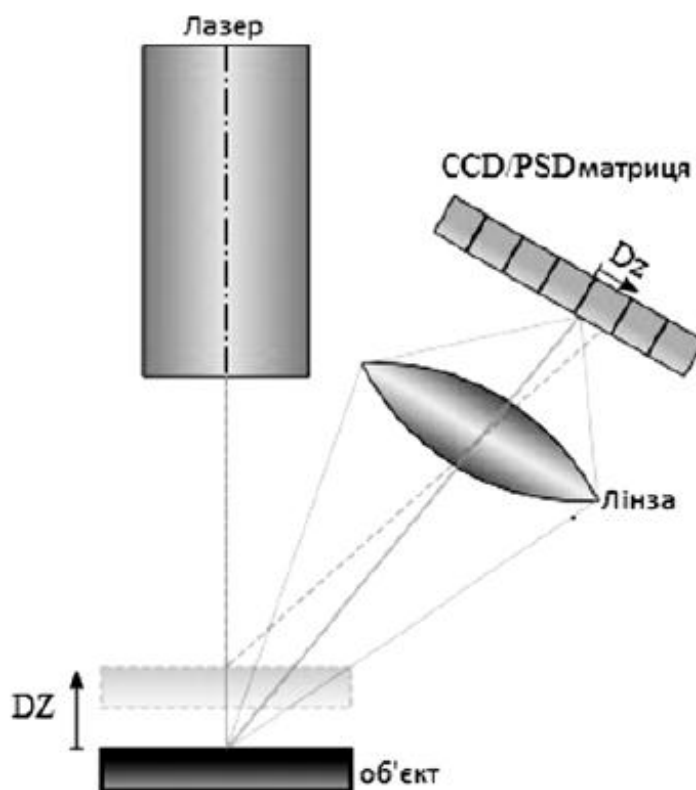


Рис.1.4.3.1. Принцип визначення відстані триангуляційним способом

Базовий принцип безконтактного сканування з використанням лазерного променя полягає у наступному. Для побудови віртуальної моделі фізичного об'єкта потрібно одержати структурований масив тривимірних координат точок його поверхні. Визначити координати x і y , що лежать в площині, перпендикулярній головній оптичній осі цифрової камери, не складно. Тому головна задача сканування зводиться до вимірювання третьої координати z , що відповідає відстані від камери до об'єкта. Схема вимірювання координати z представлена на рис.1.4.3.2.

Лазерний промінь в певних точках освітлює фізичний об'єкт. На об'єкт направлена цифрова камера, що фіксує відбиток променя від об'єкта. Залежно від відстані до поверхні об'єкту, тобто глибини об'єкту, відбиток променя з'являється в різних місцях поля зору камери. Взаєморозташування лазера, об'єкта і камери утворює прямокутний трикутник. Довжина однієї сторони

трикутника (відстань від камери до лазера) відома. Також задається певний напрямок освітлення лазерного променя. Тому можна обчислити відстань від цифрової камери до поверхні, тобто z - координату за формулою:

$$Z = S \cdot \operatorname{tg} \alpha .$$

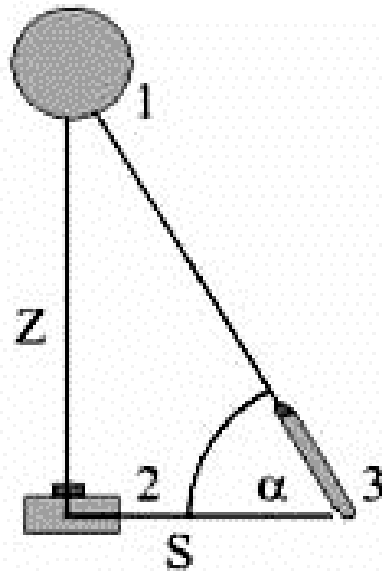


Рис 1.4.3.2. Метод отримання z – координати: 1 – об’єкт, що сканується; 2 – цифрова камера; 3 – лазерний генератор лінії

Спираючись на вищесказане, застосовується наступна концепція. Об’єкт освітлює світлова лінія, яка утворюється лазерним променем. Її відбиток фіксується цифровою камерою, а з одержаного набору таких відбитих ліній генерується 3D модель, що зберігається потім у вигляді типізованого файлу даних.

Поле зору приладу залежить від його конструкції і в горизонтальній площині складає 360° , а у вертикальній площині варіюється від 60° до 310° (так звані панорамні сканери).

Зберігання даних здійснюється безпосередньо на прилад або через вбудований інтерфейс на ноутбук/. В новітніх приладах для передачі даних використовується безпроводна технологія Wi-Fi та/або стандартний роз’єм Ethernet.



Рис.1.4.3.3. Приклад імпульсного сканера

Інтегровані лазерні сканери укомплектовані цифровою камерою, завдяки чому можна попередньо візуалізувати об'єкт, що сканується, для спрощення вибору області сканування та спрощення подальшої обробки та моделювання.



Рис.1.4.3.4. Приклад фазового сканера

Живлення приладу здійснюється від акумуляторної батареї або безпосередньо від мережі 220В. При останньому способі можуть виникати

проблеми з доступом до електричної мережі.

Робочі параметри роботи сканерів коливаються від 0°C – до $+40^{\circ}\text{C}$, проте існують лазерні сканери, такі як Leica HDS 4400, що можуть працювати при екстремально низьких температурах до -40°C .

Єдиними недоліками лазерних сканерів вага понад 10кг. та обмеження можливостей проведення робіт погодними умовами.

Загалом весь процес сканування є максимально автоматизованим. Дані вимірювань у реальному часі накопичуються у спеціальній базі даних на вбудованому чи зовнішньому накопичувачі. На швидкість проведення робіт суттєвий вплив має кваліфікація оператора, оскільки від неї залежить кількість станцій та правильний вибір щільності (кроку) сканування.

В основі технології лазерного знімання, як і в основі тахеометричного знімання знаходиться завдання визначення просторових координат x , y , z об'єкта. Принцип роботи лазерного сканера і електронного тахеометра однаковий. В тому і іншому випадку реалізується метод просторової полярної зарубки (рис.1.4.3.5.) - вимірюються горизонтальні β , вертикальні ν кути і похилі відстані S до точок на поверхні об'єкта.

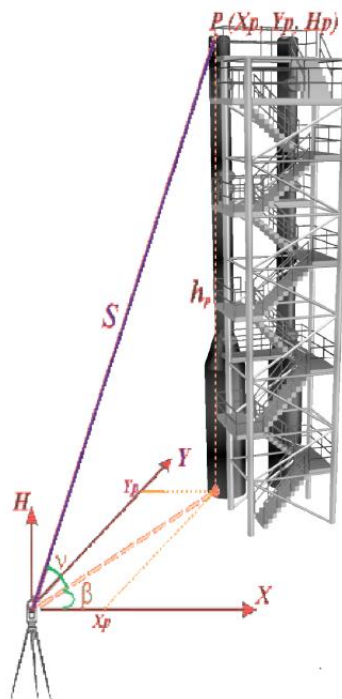


Рис.1.4.3.5. Схема визначення координат методом просторової полярної

засічки

За результатами вимірювань обчислюється просторове положення (X_p , Y_p , Z_p) (рис.1.4.3.6.) знімальних точок в системі координат сканера.

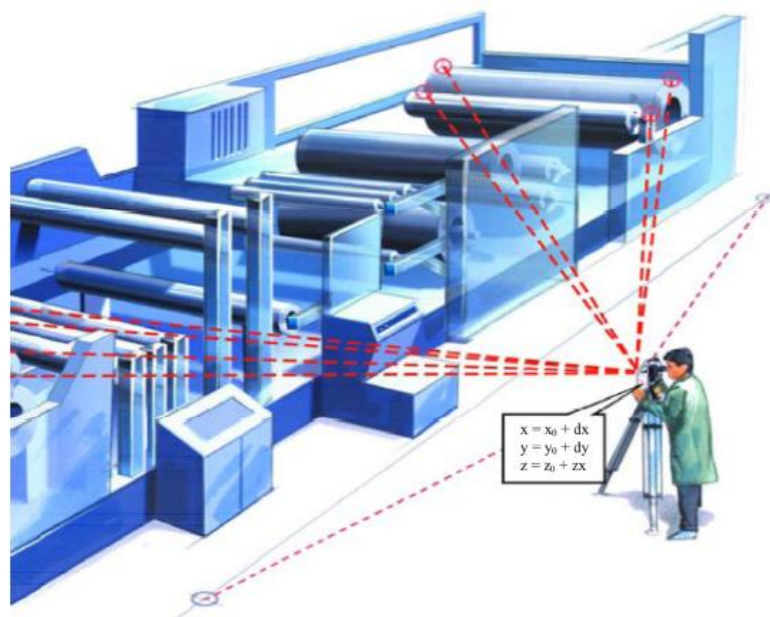


Рис. 1.4.3.6. Обмір з використанням безвідбивачевого режиму

Отримані дані можуть зберігатися у вигляді знімків (Сканів) (рис.1.4.3.7.) необмежену кількість часу і надалі можуть бути оброблені і переведені в формат обмірних креслень без додаткового дослідження об'єкта. Цю ж особливість технології можна використовувати при проведенні моніторингу технічного стану будівель та споруд. Порівняння результатів сканування одного і того ж об'єкта в різні періоди часу дає чітку картину змін, що відбулися.

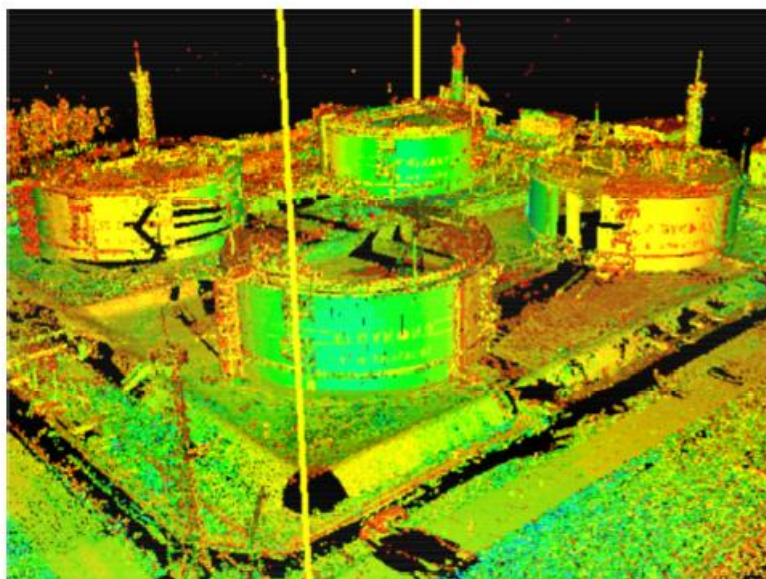


Рис. 1.4.3.7. Приклад скану

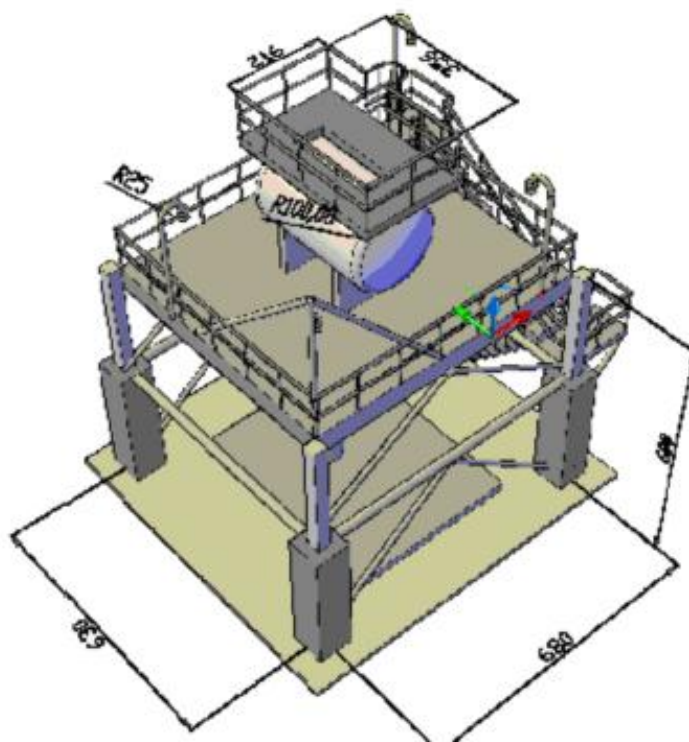


Рис.1.4.3.8. Приклад фрагменту 3-D моделі

На даний час у світі багатьма фірмами випускаються наземні лазерні сканери, що мають різні функціональні можливості. При цьому єдиної інструкції, де описані етапи робіт і послідовності дій при виконанні сканером зйомки, немає - існують інструкції до кожного приладу.

Розділ 2. Проект геодезичних робіт для виконання обмірів фасадів споруди

РОЗДІЛ 2.1. ЕТАПИ ВИКОНАННЯ ГЕОДЕЗИЧНИХ РОБІТ ПРИ ВИКОНАННІ ОБМІРІВ ФАСАДІВ СПОРУДИ

Геодезичні роботи при виконанні обмірів фасадів споруди можна умовно розділити на три етапи: виконання проектних, польових та камеральних робіт.

На етапі виконання проектних робіт необхідно провести рекогносціювання на місцевості, провести розрахунок максимально допустимої відстані від споруди, що залежить від висоти споруди та висоти встановлення сканеру. Далі потрібно провести розрахунок точності на основі допусків на точність виконання робіт та зробити підбір приладу, що задовольнятиме цим вимогам. Обрати місця розташування станцій лазерного сканування, які забезпечуватимуть повноту зображення фасаду без пробілів за рахунок перекриття виступаючими елементами частин фасаду. Запроектувати планово-висотне обґрунтування, що вирішить питання розташування плоских марок на споруді, методики визначення їх координат в національній системі координат (ДГМ). Визначити місця розташування сфер для поліпшення зшивки сканів та уникнення «розривів» у зв'язках між окремими сканами. Схематично даний етап наведено на рис.2.1.1.

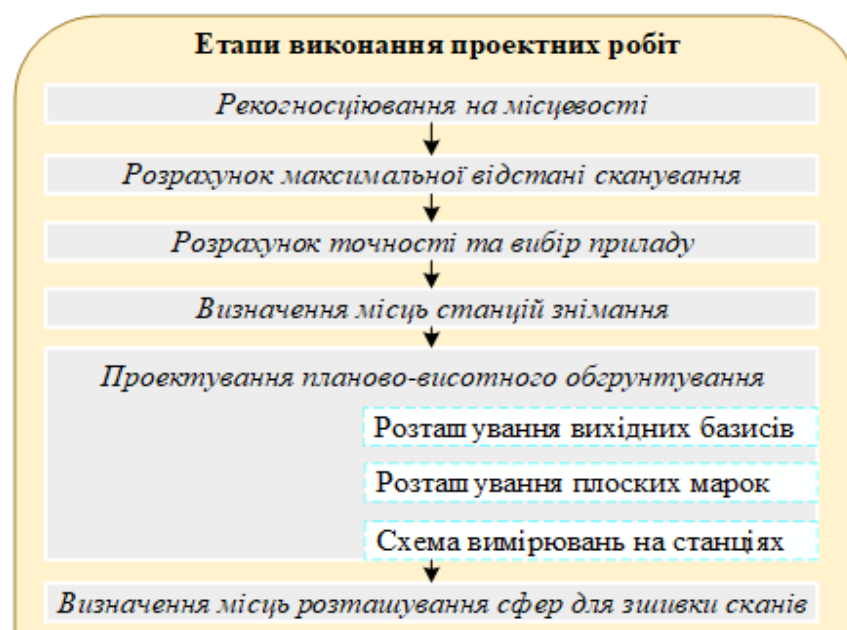


Рис.2.1.1. Етапи проектних робіт

На етапі польових робіт необхідно зафіксувати на місцевості пункти вихідних базисів, за допомогою GNSS обладнання та визначити їх координати в національній системі координат. Далі необхідно провести координування плоских марок «класичними» методами за допомогою тахеометра. Розташувати сфери та виконати сканування на визначених станціях. Схематично даний етап наведено на рис.2.1.2.

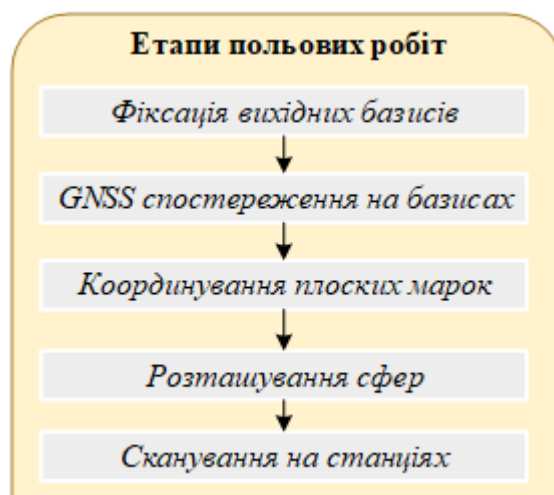


Рис.2.1.2. Етапи польових робіт

На етапі камеральних робіт необхідно опрацювати результати вимірювань на станціях тахеометром та визначити зрівняні координати плоских марок. Далі потрібно провести зшивку різних сканів в одну хмару, використавши автоматичну зшивку по сферам та напівавтоматичну по плоским маркам, що дасть змогу зорієнтувати хмару точок в національній системі координат. Після отримання єдиної хмари точок її потрібно очистити від шуму та інших об'єктів, що не відносяться до фасаду споруди. Для створення плоских обмірних креслень цього буде достатньо, проте для створення BIM моделі потрібно об'єднати хмару точок фасаду споруди з хмарою точок внутрішніх приміщень. Наступним кроком можна передати хмару точок в Revit та почати підмальовувати окремі 3Д об'єкти споруди та вносити атрибутивну інформацію про них. Після отримання загальної моделі споруди необхідно провести контроль якості у вигляді визначення відхилення хмари точок від побудованої моделі. Схематично даний етап наведено на рис.2.1.3.

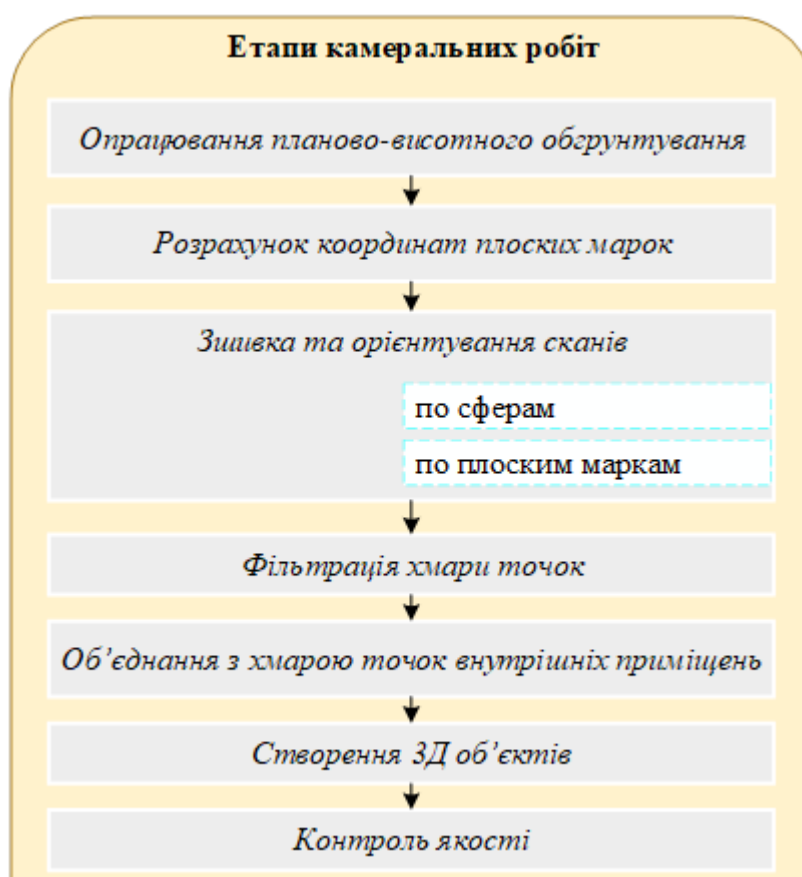


Рис.2.1.3. Этапы камеральных работ

2.2. МЕТОДИКА ВИКОНАННЯ РОБІТ З ОБМІРІВ ФАСАДІВ СПОРУДИ ЛАЗЕРНИМ СКАНЕРОМ

2.2.1. Рекогносціювання на місцевості

Необхідно визначити наявність перешкод навколо споруди у вигляді автомобільних паркінгів, банерної реклами, дерев, зупинок громадського транспорту та інше. На рис.2.2.1.1 та рис.2.2.1.2 показано наявні перешкоди навколо споруди.

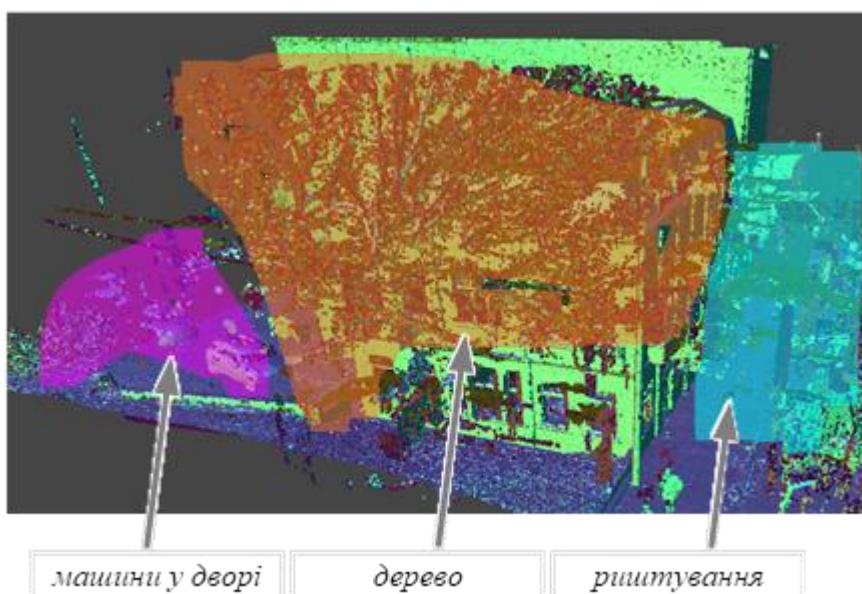


Рис.2.2.1.1. Перешкоди навколо споруди вид ззовні

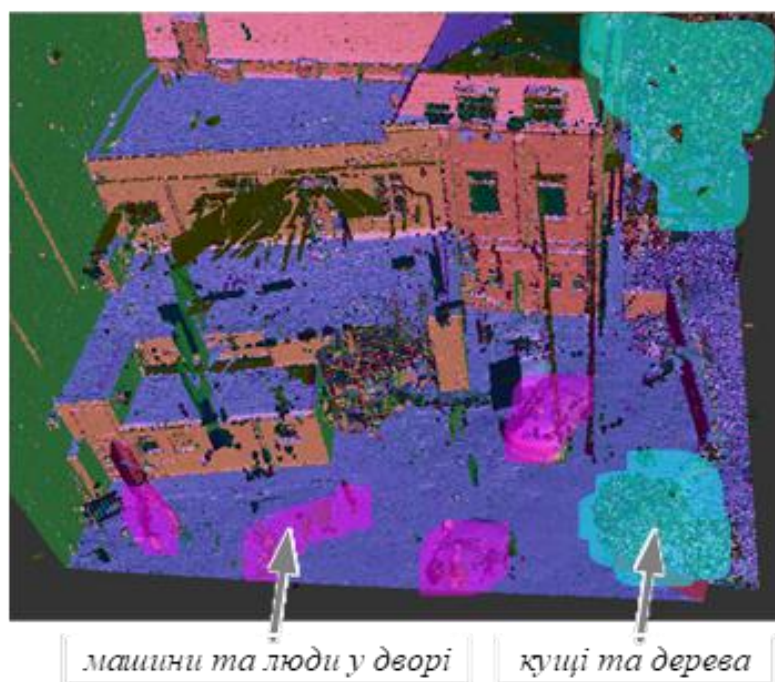


Рис.2.2.1.2. Перешкоди навколо споруди вид з двору

2.2.2. Розрахунок максимальної відстані від сканера до об'єкту сканування

Для виконання робіт з лазерного сканування фасадів споруди необхідно розрахувати максимальну відстань від сканера до об'єкту сканування. Для цього необхідно врахувати два наступних параметри: точність виконання вимірювань приладом і кут падіння променя.

Великий (гострий) падіння лазерного променя впливає на наявність так званих «тіней» на лазерному скані, які представляють із себе розриви хмари точок. Таких «тіней» необхідно уникати і найкращий спосіб, це забезпечити таку щільність станцій знімання, щоб кут падіння лазерного променя був в межах 45 градусів від перпендикуляру до площини знімання. Максимальну відстань сканування L визначають з формули:

$$L = \sqrt{S^2 + (H - h)^2} \quad (1)$$

кут падіння променя α визначають з формули:

$$\alpha = \arctg\left(\frac{H-h}{S}\right), \quad (2)$$

де H - висота об'єкта, h - висота установки сканера, S – горизонтальна відстань від сканера до об'єкта.

Спираючись на формулу (2) розрахуємо мінімальну горизонтальну відстань від сканера до об'єкта S за умови збереження кута нахилу променя до 45 градусів та максимальну відстань сканування L :

$$S = (H - h) \cdot \operatorname{tg} 45 = (15 - 1,5) \cdot \operatorname{tg} 45 = 13,5 \text{ м}$$

$$L = \sqrt{13,5^2 + (15 - 1,5)^2} = 19,1 \text{ м}$$

Максимальна відстань сканування з огляду на точність виконання вимірювань приладом розраховується на основі допусків на створення ВІМ моделі та заявлених характеристик приладу. В нашому проекті ми використовуємо LOD300 (додаток 1), тобто елемент ВІМ моделі представлений у вигляді об'єкта з точними розмірами, формою, просторовим положенням, орієнтацією, зв'язками та необхідною не графічною інформацією.

2.2.3. Розрахунок точності та вибір приладу

Модель BIM (LoD3) містить усі конструктивні елементи та основні спрощені архітектурні деталі і має деталізацію елементів, як і двовимірна документація в масштабі 1:50 або 1:100.

Для нашого проекту визначені певні вимоги точності до окремих елементів. Для стін – 20мм, підлоги та стелі 30мм, несучих металевих елементів – 15 мм, даху – 50мм. Значить граничне допустиме відхилення δ (від проекту) для зовнішніх елементів споруди складає 20 мм. Перехід від δ до СКП виконуємо за наступною формулою:

$$\Delta_{\text{буд}} = \delta = 3\text{м}, \quad (3)$$

де δ - граничне допустиме відхилення (від проекту)

m - СКП

$$\text{Допустима СКП } m^{\text{доп}} = \frac{20\text{мм}}{3} = 6,7\text{мм}$$

Від допустимої СКП визначимо допуск на точність вимірювання відстані та кута. Враховуючи принцип роботи лазерного сканера можна описувати одне вимірювання як визначення точки полярним методом.

1. Похибка полярного методу $m_{\text{п.м.}}$ складається з повздовжньої похибки побудови відстані m_d та поперечної похибки побудови відстані m'_d

$$m_{\text{п.м.}} = m_d + m'_d \quad (4)$$

$$m_d^{\text{доп}} = \frac{m_{\text{п.м.}}}{\sqrt{2}} \quad (5)$$

$$m_d^{\text{доп}} = \frac{6,7}{\sqrt{2}} = 4,7 \text{ мм}$$

2. Враховуючи, що $m_d = m'_d$ можна перейти від поперечної похибки побудови відстані до кутової похибки

$$\text{якщо } m'_d = \frac{m_\alpha}{\rho} D, \text{ тоді } m_\alpha^{\text{доп}} = \frac{m_d^{\text{доп}} \cdot \rho}{D} \quad (6)$$

$$m_\alpha^{\text{доп}} = \frac{4,7 \text{ мм} * 206265}{27000} = 36 \text{ ''}$$

Вибір приладу

Сучасні лазерні сканери — портативний, швидкий і точний, але водночас високо автоматизований і простий спосіб отримання хмари точок. Простіше кажучи, сканер встановлюється на штатив, ви налаштовуєте його відповідно до того, що хочете виміряти, і запускаєте процес сканування. Високошвидкісне обертове дзеркало забезпечує надзвичайно високу швидкість вимірювання (до декількох сотень тисяч вимірювань за секунду), Точність визначення положення точки до 4 мм на 50 м, а візуальна інерціальна система з розумними алгоритмами повідомляє сканеру, де він знаходиться - його відносне положення та орієнтацію - при переміщенні між різними установками.

Розробки в області лазерного сканування та обробки хмар точок можуть забезпечити значну економію коштів за рахунок автоматизації обробки масивів даних з покращеними вихідними характеристиками та подробиці. Збір кінематичних даних забезпечується в основному двома різними технологіями: позиціонуванням GNSS-IMU та одночасною локалізацією та картуванням (SLAM), обидві з яких є засобами відстеження переміщень геодезичних лазерних скануючих пристроїв під час роботи. Перший надає дані у глобальній географічній системі координат, а другий зазвичай надає дані у локальній координатній системі.

В даний час все частіше з'являються дуже компактні та мобільні лазерні сканери, які вміщуються в рюкзак або сумку, їх чіпляють літаками та дронами.

У нашому проекті використовувався - FARO Laser Scanner Focus S350. Нова серія лазерного сканера, яка виробляється у двох варіантах: S 150 і S350 - відрізняються лише радіусом дії, 150 м та 350 м. відповідно.

Focus S поєднує всі переваги від відомих лазерних сканерів FARO Focus3D з найсучаснішими інноваційними функціями для виконання лазерного сканування як всередині, так і зовні приміщень — по-справжньому мобільно, швидко і надійно.



Рис.2.2.3.1. Зовнішній вигляд лазерного сканеру FARO Focus S350

Серія Focus S є останнім компактним, легким та інтуїтивно зрозумілим доповненням до популярної лінійки продуктів лазерних сканерів FARO. Пристрої цієї серії є найбільш далекоглядними лазерними сканерами на ринку. Додано кілька функцій, орієнтованих на клієнтів, таких як рівень захисту (IP54), підвищена точність сканування, інтерфейс для підключення аксесуарів і вбудована функція компенсації.

FARO Focus S забезпечує новий рівень лазерного сканування для різних застосувань у таких галузях, як будівництво, BIM/CIM, громадська безпека та криміналістика

ПЕРЕВАГИ:

- Сканування в складних умовах, забезпечуючи при цьому захист від пилу, сміття та бризок води
- Максимальне наближення сканованих даних до реальності завдяки підвищеній точності.
- Перспективні інвестиції та розширюваність завдяки підключенню аксесуарів.
- Просте управління та контроль сканера через великий та яскравий сенсорний екран.

Таблиця 2.

Технічні характеристики лазерного сканера FARO Focus S 350

Відбивна здатність	90% (білий)	10%(темно-сірий)	2% (чорний)
Діапазон	0.6-350 м	0.6-150 м	0.6-50 м

Таблиця 3.

Технічні характеристики лазерного сканера FARO Focus S 350

Системні шуми	@10м	@ 10м - при шумопониженні	@25м	@ 25м - при шумопониженні
@90 % отр.	0,3 мм	0,15 мм	0,3 мм	0,15 мм
@10 % отр.	0,4 мм	0,2 мм	0,5 мм	0,25 мм
@2 % отр.	1,3 мм	0,65 мм	2,0 мм	1,0 мм

Помилка вимірювання дальності: ± 1 мм

Кутова точність: 19" для вертикального/горизонтального кута

Точність 3D позиціонування: 10 м: 2 мм / 25 м: 3.5 мм

Зона видимості (верт./гориз.): 300 ° / 360 °

Крок кута повороту (верт./гориз.): 32.4" (40,960 3D-крапок на 360°) / 32.4" (40,960 3D-точок на 360°)

2.2.4. Визначення місць станцій знімання

Перед початком виконання вимірювань на станції сканер необхідно встановити на штатив або інший аналогічний пристрій. При виборі місця розташування станції основною умовою є максимальний кут захоплення видимої ділянки зйомки, що багато в чому визначається кутом поля зору НЛС. панорамні сканери дозволяють виконувати зйомку в близьких до зеніту областях без нахилу.



⊕ станція TLS — контур споруди

Рис. 2.2.4.1. Схема розташування станцій знімання

2.2.5. Проектування планово-висотного обґрунтування

Для виконання вимірювань у заданій системі координат при роботі з наземними лазерними сканерами створюється планово-висотне обґрунтування (ПВО). Створення планово-висотного обґрунтування здійснюється в два етапи: створення основного планово-висотного обґрунтування; створення робочого планово-висотного обґрунтування сканера. Основне ПВО створюється від пунктів державної геодезичної мережі (ДГМ) або мереж згущення таким чином, щоб забезпечити на ділянці робіт необхідну кількість точок робочого ПВО. При створенні основного ПВО супутниковими методами пункти доцільно розташовувати на об'єкті у вигляді базисів, від яких відбувається їх подальше згущення прокладанням висячих теодолітних ходів. Прив'язка до пунктів ДГМ необхідна у випадку подальшого порівняння результатів за певний проміжок часу у єдиній системі координат. Робоче планово-висотне обґрунтування являє собою точки з відомими координатами, які можуть бути однозначно розпізнані на точковій моделі, і за якими в подальшому обчислюються параметри орієнтування НЛС.



Рис. 2.2.5.1 Типи сканерних марок

У якості робочого ПВО використовуються сканерні марки. В основі дешифрування сканерних марок за даними наземного лазерного сканування лежать два принципи - визначення геометричного центру плоскої фігури, що однозначно контрастує з навколишніми поверхнями (плоскі сканерні марки, представлені на рисунку 2.2.5.1. а, б, в), або визначення центру геометричної

фігури відомої форми і/або розмірів (об'ємні сканерні марки, представлені на рисунку 2.2.5.1. г, д, е), наприклад, сфери, півсфери або циліндра.

Для зручності установки сканерних марок на різні поверхні, їх нахилу або розвороту можуть використовуватися спеціальні підставки різної конструкції.

Конфігурація розміщення точок робочого ПВО щодо НЛС повинна бути рівномірною, а збільшення їх кількості додає надлишкові вимірювання, що підвищує точність і надійність визначення параметрів орієнтування сканера. У деяких випадках точки робочого ПВО грають роль основного. Це відбувається тоді, коли мережа розвивається методом прокладання сканерних ходів, тобто частина точок робочого ПВО (зелені) попередньої сканерної станції є точками робочого ПВО наступної (рис. 2.2.5.2.).

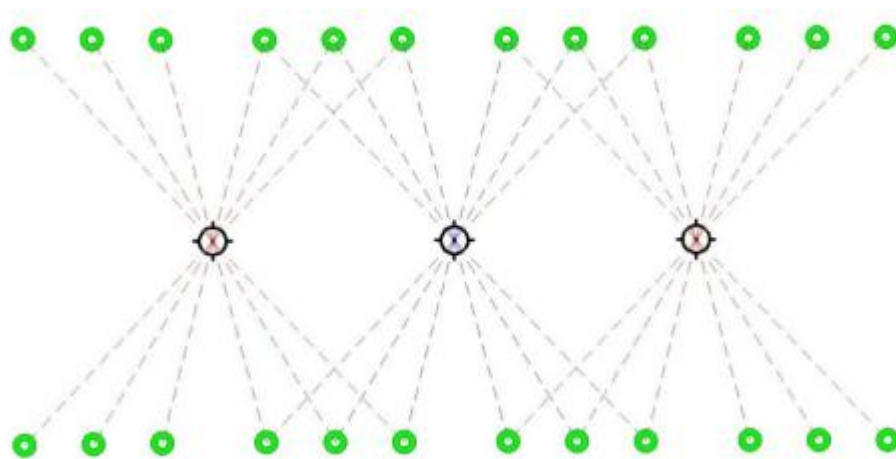


Рис. 2.2.5.2. Схема створення ПВО прокладанням ходу за допомогою сканера

Такі ходи можуть бути замкнутими або витягнутими. Враховуючи те, що точність визначення координат марок НЛС найчастіше вище точності одиночного виміру сканера і за рівнем відповідає або навіть перевершує точність більшості електронних тахеометрів, такий спосіб розвитку робочого ПВО досить ефективний і дозволяє досягти високої точності орієнтування НЛС. Прокладання сканерних ходів доцільно в тих випадках, коли навколишня ситуація дозволяє розташувати сканерні марки в необхідній конфігурації. Орієнтування точкових моделей, отриманих з різних сканерних станцій у

зовнішній системі координат, здійснюється за допомогою ПЗ. Воно, використовуючи алгоритм пошуку спільних сканерних марок в обох системах координат (зовнішньої і системи координат сканера), визначає зв'язки між марками, після чого відбувається орієнтування. Для оцінки точності і якості орієнтування використовуються значення помилок визначення лінійних і кутових елементів орієнтування або помилки положення марок у зовнішній системі координат. Виконання вимірювань наземними лазерними сканерами

Процес виконання вимірювань на сканерній станції аналогічний для всіх моделей НЛС і включає наступні етапи:

а) встановлення зв'язку НЛС з керуючим ПЗ. Для управління процесами сканування та обміну даними між сканером і керуючим комп'ютером використовується керуюче ПЗ. В окремих випадках, НЛС може мати вбудований комп'ютер з монітором. Також має місце запис вимірювань не на зовнішній комп'ютер, а на знімні карти пам'яті. Після запуску керуючого ПЗ та встановлення зв'язку з НЛС виконуються вимірювання;

б) завдання області сканування. Керуюче ПЗ для різних моделей наземних сканерів містить ідентичні функції завдання режимів сканування та обміну даними. Завдання області сканування здійснюється за зображенням поля зору сканера. Для формування таких зображень використовуються пряме відео або панорамний знімок, отриманий за допомогою вбудованої відеокамери. Недоліком такого знімка є те, що реальна область сканування буде трохи відрізнятись від заданої внаслідок розбіжності положення відеокамери з прийнятно-передавальним пристроєм далекоміра. Інший спосіб формування зображення поля зору НЛС полягає в створенні зображення за даними сканування. У даному випадку перед виконанням основних вимірів виконується сканування в межах поля зору сканера з великим кутовим кроком. Це дозволяє задавати область сканування, яка буде в точності відповідати реальній;

в) завдання кроку сканування. Більшість НЛС мають можливість завдання довільних значень кроку сканування як в кутовий, так і в лінійній мірі. У

другому випадку в керуючому ПЗ вказується необхідна відстань між знімальними точками на певній відстані, на підставі чого визначається відповідний кутовий крок;

г) завдання режиму сканування. Багато моделей НЛС мають функції завдання режимів сканування, спрямовані на підвищення точності вимірювань, що досягається кількома способами. Першим є фокусування лазерного променя, що здійснюється вручну на фіксовану відстань, або в автоматичному режимі для кожного вимірювання. Другим способом є збільшення кількості прийомів виконання кожного вимірювання для подальшого їх усереднення. [3]

Прив'язку планово-висотної основи на об'єкті вирішено виконати за допомогою вимірювання координат станцій базисів GNSS методами у режимі RTK. Обраний підхід дозволить отримати точність прив'язки вихідних базисів до ДГМ в межах 1-2 см. Необхідне GNSS обладнання можна взяти в оренду у одного з RTK провайдерів, що працюють на території Великобританії, наприклад RTKFnet, Premium Positioning, RTK FIX та інші. Всі вони працюють з державною геодезичною мережею OS Net (рис. 2.2.5.3.)

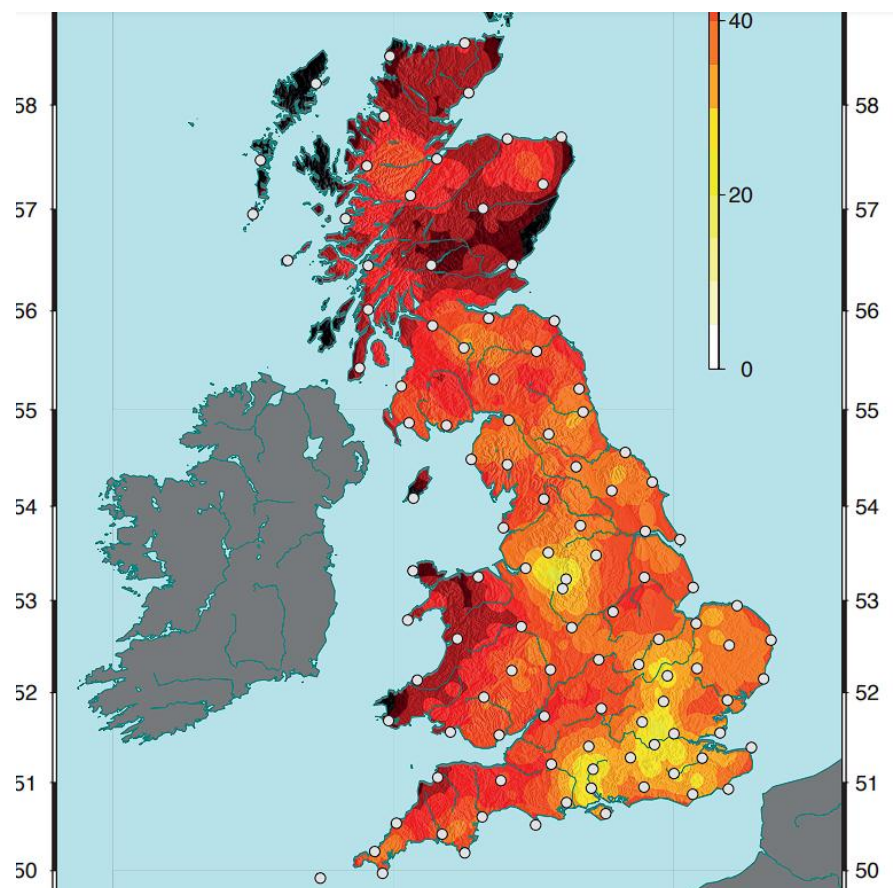


Рис. 2.2.5.3. Схема покриття мережі OS Net

Мережа OS Net складається приблизно з 115 постійно встановлених геодезичних приймачів GNSS по всій Великій Британії, так що більшість точок знаходяться в межах 75 км принаймні від однієї станції OS Net, а основні міські райони обслуговуються кількома станціями. Усі станції OS Net записують двочастотні дані GNSS 24 години на добу.

Всі вимірювання від WGS 84 трансформуються в локальну національну мережу OSGB36 National Grid та ортометричні висоти (MSL) у відповідності до стандарту OSTN15 и OSGM15. Цей стандарт забезпечує похибку визначення висоти в межах 8 мм для території Великобританії (без урахування похибки приладу).

Вимірювання на станціях проводити GNSS приладом, що забезпечує точність визначення планових координат 1 - 2 см, висотних - 2 см.

Запропоновану схему розташування вихідних базисів на території знімання споруди показано на рис. 2.2.5.4.



Рис. 2.2.5.4. Схема розташування вихідних базисів

Після обрання місць розташування пунктів планово-висотного обґрунтування можна приступати до планування розташування плоских марок та схеми визначення їх координат.

Запропонована схема розташування плоских марок показана на рис. 2.2.5.5.



□ плоска марка — контур споруди

Рис. 2.2.5.5. Схема розташування плоских марок

Точність визначення координат плоских марок повинна бути не меншою за розраховану допустиму точність вимірювань лазерним скнером, з огляду на це необхідно забезпечити точність визначення кутів $36''$ та відстаней $6,7$ мм. Для цієї задачі запропоновано використати найбільш популярний тахеометр з точністю кутових вимірів $5''$ та формулою визначення відстаней не гірше $2 + 2 \cdot S$ км.

Порядок визначення координат плоских марок схематично наведено на рис. 2.2.5.6.

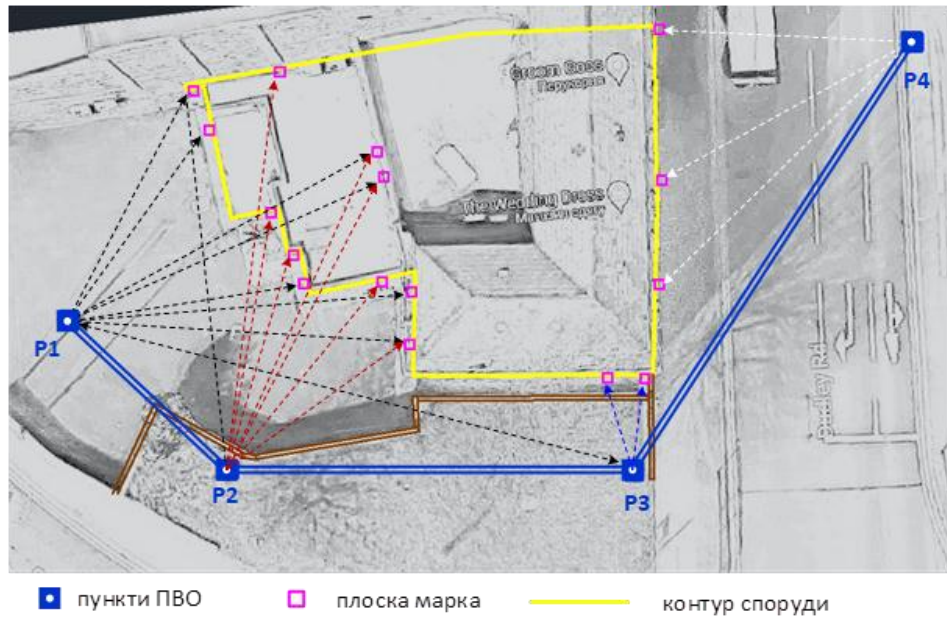


Рис. 2.2.5.6. Схема визначення координат плоских марок

Знаючи розташування станцій лазерного сканування (TLS) та плоских марок плануємо місця розташування сферичних марок таким чином, щоб забезпечити їх видимість з максимальної кількості станцій та закрити можливі пробіли в зв'язках між TLS. Схематичне розташування сферичних марок показано на рис. 2.2.5.7.



Рис. 2.2.5.7. Схема розташування об'ємних марок, станцій сканування та плоских марок

Розділ 3. Проект геодезичних робіт для виконання обмірів внутрішніх приміщень

3.1. ЕТАПИ ВИКОНАННЯ ГЕОДЕЗИЧНИХ РОБІТ ПРИ ВИКОНАННІ ОБМІРІВ ВНУТРІШНІХ ПРИМІЩЕНЬ СПОРУДИ

Геодезичні роботи при виконанні обмірів внутрішніх приміщень споруди можна умовно розділити на три етапи: виконання проектних, польових та камеральних робіт.

На етапі виконання проектних робіт необхідно провести рекогносціювання на місцевості, провести розрахунок максимально допустимої відстані від стін приміщення, що залежить від висоти стелі приміщення та висоти встановлення сканеру. Далі потрібно провести розрахунок точності на основі допусків на точність виконання робіт та зробити підбір приладу, що задовольнятиме цим вимогам. Обрати місця розташування станцій лазерного сканування, які забезпечуватимуть повноту зображення фасаду без пробілів за рахунок перекриття виступаючими елементами частин фасаду. Визначити місця розташування сфер, які виступатимуть в ролі не тільки для поліпшення зшивки сканів та уникнення «розривів» у зв'язках між окремими сканами, а і як точки планово-висотної основи. Схематично даний етап наведено на рис.3.1.1.

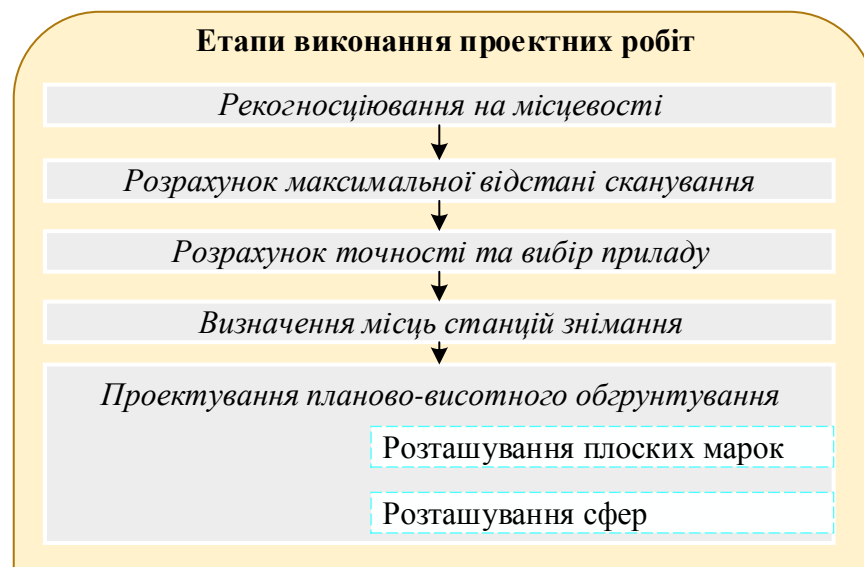


Рис.3.1.1. Етапи проектних робіт

На етапі польових робіт необхідно розташувати плоскі марки, сфери та виконати сканування на визначених станціях. Схематично даний етап наведено на рис.3.1.2.

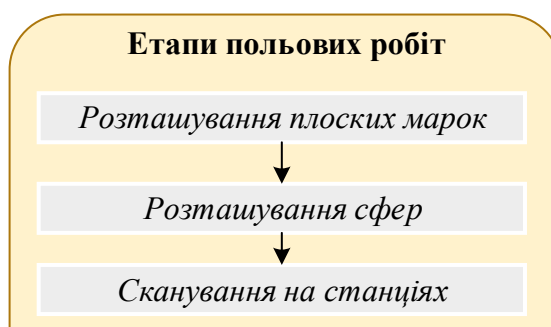


Рис.3.1.2. Етапи польових робіт

Далі потрібно провести зшивку різних сканів в одну хмару, використавши автоматичну зшивку по сферам та плоским маркам. Після отримання єдиної хмари точок її потрібно очистити від шуму та інших об'єктів. Для створення BIM моделі потрібно об'єднати хмару точок внутрішніх приміщень з хмарою точок фасаду споруди. Наступним кроком можна передати хмару точок в Revit та почати підмальовувати окремі 3Д об'єкти споруди та вносити атрибутивну інформацію про них. Після отримання загальної моделі споруди необхідно провести контроль якості у вигляді визначення відхилення хмари точок від побудованої моделі. Схематично даний етап наведено на рис.3.1.3.

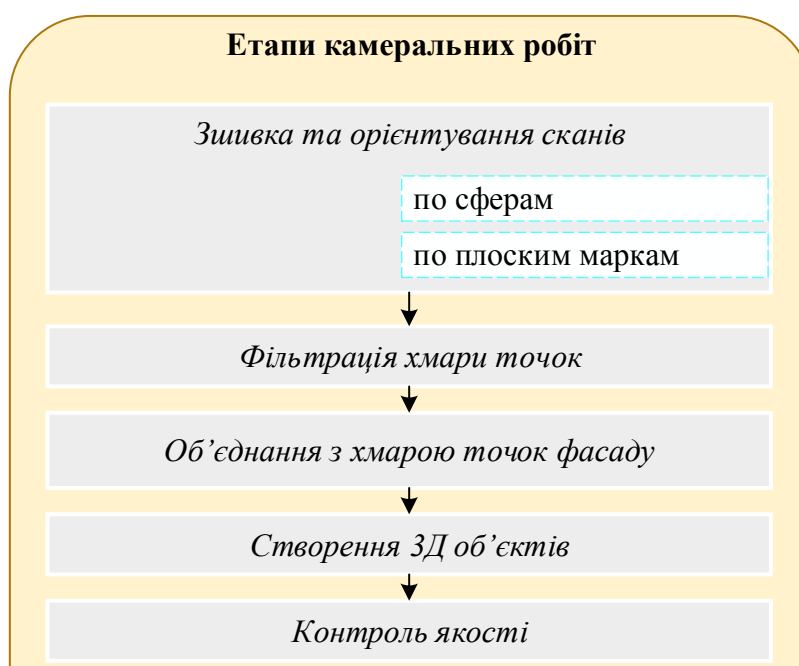


Рис.3.1.3. Етапи камеральних робіт

3.2. МЕТОДИКА ВИКОНАННЯ РОБІТ З ОБМІРІВ ВНУТРІШНІХ ПРИМІЩЕНЬ СПОРУДИ ЛАЗЕРНИМ СКАНЕРОМ

3.2.1. Рекогносціювання на місцевості

Необхідно визначити наявність перешкод в приміщенні у вигляді меблів, техніки, інших речей. Необхідно оцінити можливості переходу між поверхами споруди та наявність приміщень малого розміру «глухої» конфігурації (підсобні приміщення та туалети). На рис.3.2.1.1 та рис.3.2.1.2 показано наявні перешкоди навколо споруди.

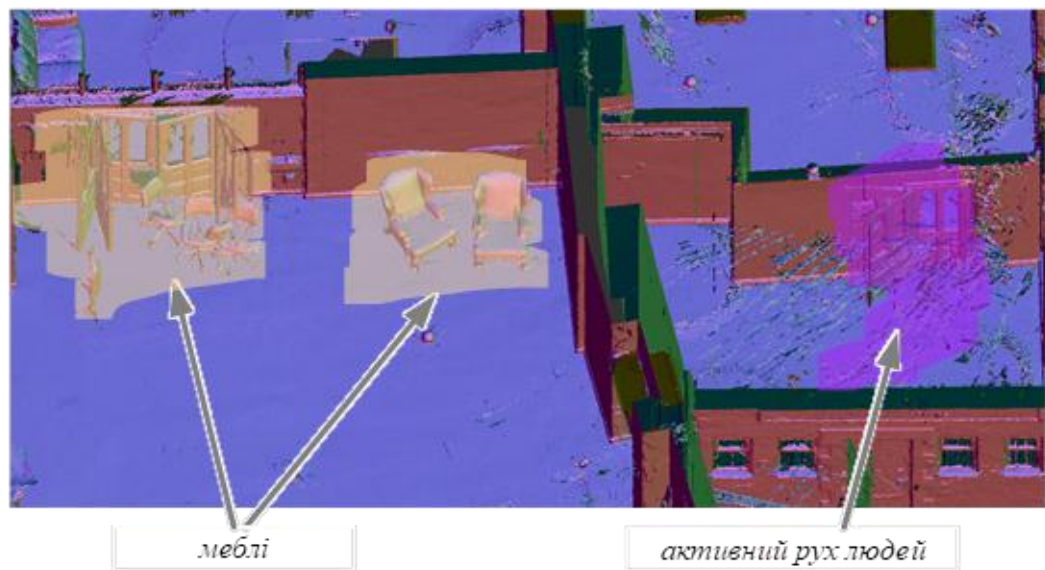


Рис.3.2.1.1. Перешкоди в середині споруди 1й поверх

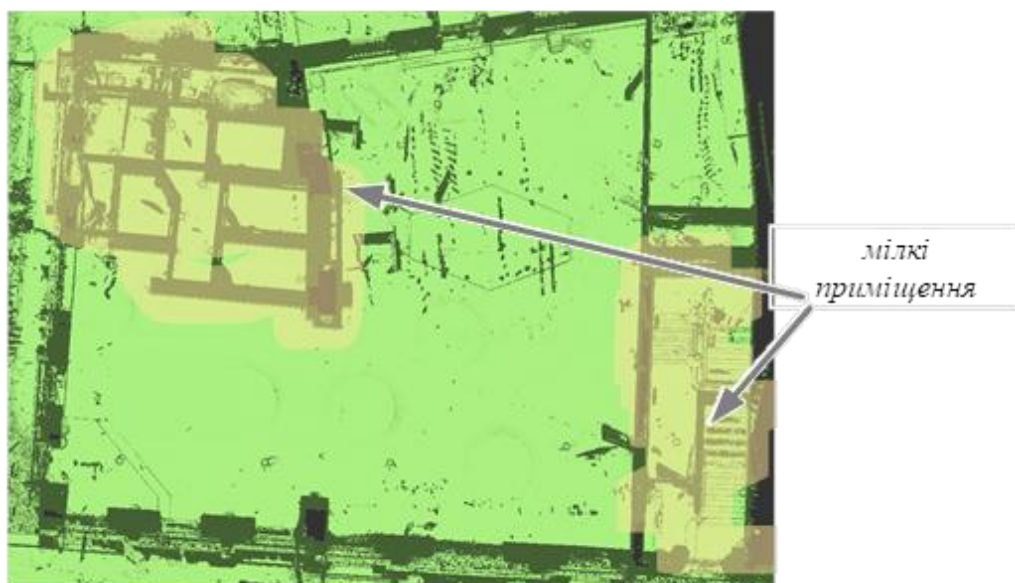


Рис.3.2.1.2. Перешкоди в середині споруди 2й поверх

3.2.2. Розрахунок максимальної відстані від сканера до об'єкту сканування

Розрахунок максимальної відстані від сканера до об'єкту сканування виконується у відповідності до висвітленої розділі 2.2.2 інформації. Тому одразу переходимо до розрахунку і спираючись на формулу (2) визначимо мінімальну горизонтальну відстань від сканера до об'єкта S за умови збереження кута нахилу променя до 45 градусів та максимальну відстань сканування L :

$$S = (H - h) \cdot \operatorname{tg} 45 = (4,5 - 1,5) \cdot \operatorname{tg} 45 = 3 \text{ м}$$

$$L = \sqrt{3^2 + (4,5 - 1,5)^2} = 4,2 \text{ м}$$

3.2.3. Розрахунок точності та вибір приладу

Для нашого проекту граничне допустиме відхилення δ складає 15 мм. Розрахунок точності виконується у відповідності до висвітленої розділі 2.2.3 методики.

$$\text{Допустима СКП } m^{\text{доп}} = \frac{15\text{мм}}{3} = 5 \text{ мм}$$

$$\text{Допуск на СКП вимірювання відстані } m_d^{\text{доп}} = \frac{5}{\sqrt{2}} = 3,5 \text{ мм}$$

$$\text{Допуск на СКП вимірювання кута } m_\alpha^{\text{доп}} = \frac{3,5 \text{ мм} \cdot 206265}{4,2} = 172''$$

З огляду на допустиму СКП запропоновано не змінювати прилад після виконання робіт із знімання фасаду.

Похибка накопичується на кожній станції за рахунок похибок зшивання

$$m_{\text{ст}}^2 = m_d^2 + m_\alpha^2 \quad (7)$$

$$m'_{\text{ст}} = \sqrt{m_d^2 + (L \cdot \operatorname{tg}(m_\alpha))^2} \quad (8)$$

Зв'язка сканів йде не менш як по 3 маркам, тому:

$$m_{\text{ст}} = \frac{m'_{\text{ст}}}{\sqrt{3}} \quad (9)$$

Похибка в слабкому місці ходу

$$m_{\text{сл}} = \frac{\sum m_{\text{ст}}}{\sqrt{2}} \quad (10)$$

3.2.4. Визначення місць станцій знімання

Встановлення декількох станцій на вулиці необхідне для зв'язку з вимірами фасаду та системою координат.

Також вони слугуватимуть пунктами, на які спирається хід станцій знімання для попередньої оцінки похибки вимірювань.

На першому поверсі найдовший хід, що спирається на два пункти складається з 8 станцій $m_{сл} = (8 \cdot 0,7) / \sqrt{2} = 4 \text{ мм}$

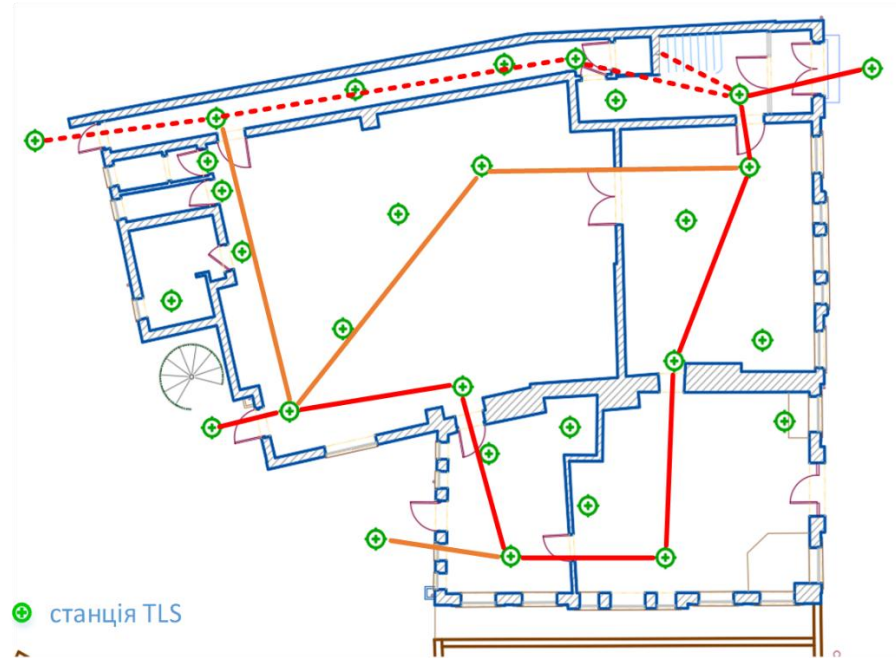


Рис. 3.2.4.1. Схема розташування станцій знімання на першому поверсі

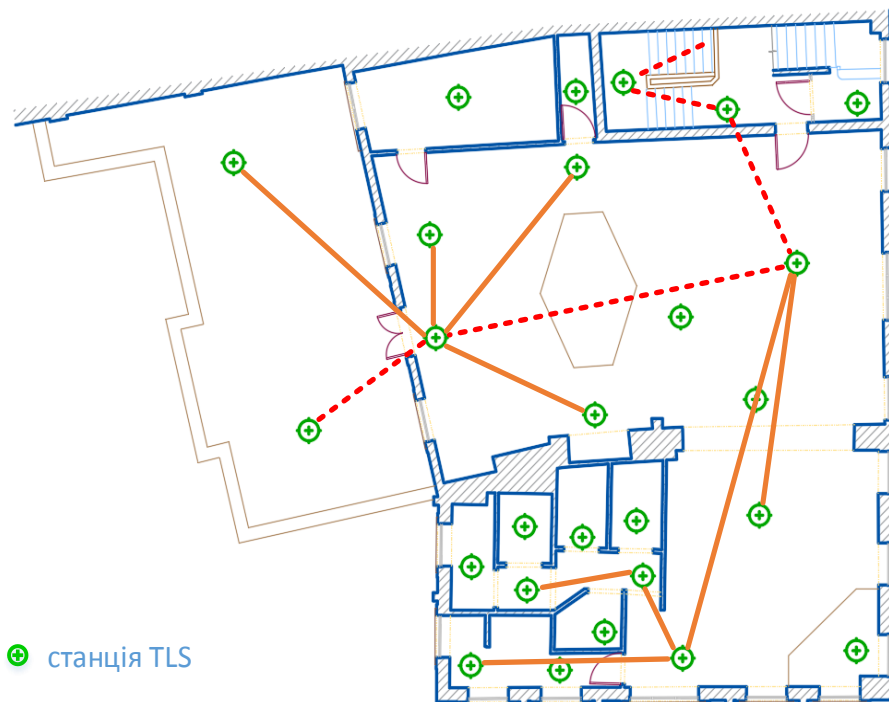


Рис. 3.2.4.2. Схема розташування станцій знімання на другому поверсі

На другому поверсі ситуація аналогічна, а найдовший «висячий» хід, що спирається на два пункти має 6 станцій, тому $m_{cl} = 6 \cdot 0,7 = 4,2$ мм.

3.2.5. Проектування планово-висотного обґрунтування

Створення геодезичної основи для знімання внутрішніх приміщень вирішено виконати на основі прокладання ходу лазерним сканером, опис якого наведено в розділі 2.2.5. на с.48. Відповідно до методики плоскі та сферичні марки будуть використані як точки планово-висотного обґрунтування.

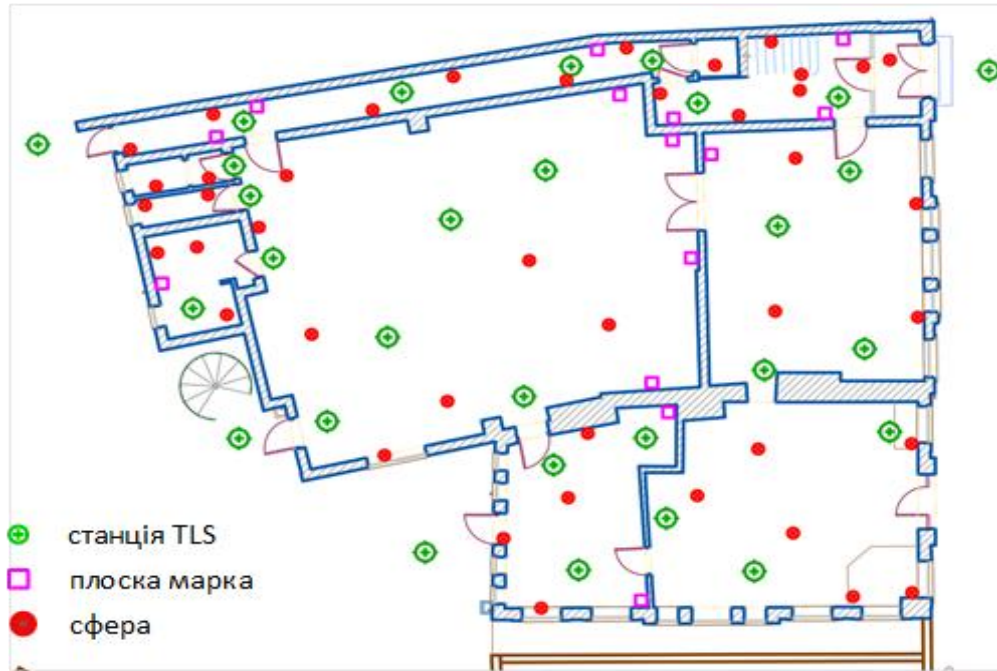


Рис. 3.2.5.1. Схема розташування об'ємних марок, станцій сканування та плоских марок на першому поверсі

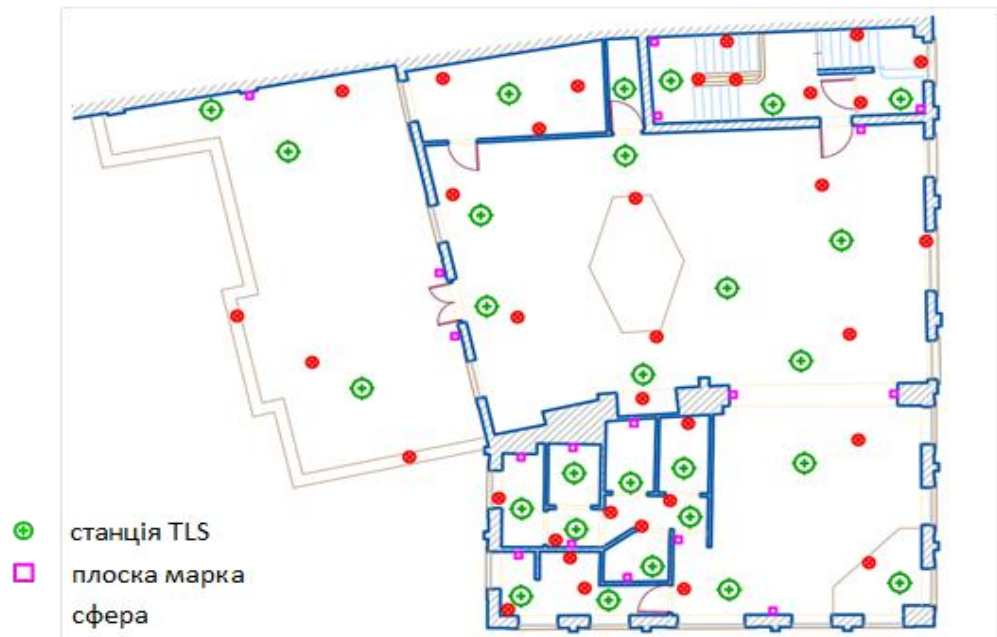


Рис. 3.2.5.2. Схема розташування об'ємних марок, станцій сканування та плоских марок на другому поверсі

3.3. МЕТОДИКА СТВОРЕННЯ BIM МОДЕЛІ

Створення BIM – моделі може переслідувати різні цілі. Це можуть бути великі моделі цілих кварталів з рівнем деталізації LOD100 та LOD200, для планування нових споруд та суттєвої реконструкції значних частин інфраструктури. Або для визначення енергоефективності та аналізу руху сонця та сонячного світла і його впливу (Solar Analysis) на оточуючі будівлі. Solar Analysis надає в контексті результати аналізу сонячної радіації, щоб допомогти відстежувати сонячну енергію протягом усього періоду функціонування та використання будівлі або споруди. Зазвичай для таких цілей допустиме відхилення становить в межах 50-100мм.

Така точність дозволяє створити максимально оптимальне співвідношення витрат праці та часу то ціни.

Створення архітектурних моделей з рівнем деталізації LOD300 та LOD400 в робочій практиці є самою розповсюдженою опцією. Такі моделі відтворюють існуючу будівлю або споруду доволі точно, оскільки граничне відхилення в середньому становить 25мм, і можуть використовуватися для реконструкції, планування нового устаткування або збереження історичної спадщини.

Також моделі з рівнем деталізації LOD300 та LOD400 використовуються інженерних споруд та промислових об'єктів певних промислових. Для таких моделей зазвичай допустиме відхилення становить в середньому становить 5-10мм.

Щодо точності архітектурних та інженерних BIM-моделей, як було зазначено вище становить в середньому 5-25мм. Ці значення обумовлені деякими факторами. Перш за все це точність хмари точок. Точність хмари точок залежить від точності сканера та похибки зшивки станцій сканування в єдину хмару. В попередньому розділі було визначено, що точність хмари точок становить приблизно 5мм, отже створити модель з точністю вищу за 5мм не можливо.

Також треба враховувати можливості програмного забезпечення в якому створюється BIM-модель. Оскільки програмне забезпечення Autodesk Revit перш за все було розроблено для проектування нових споруд, тобто вони створюються «рівними» або якщо в проекті присутні складні форми вони мають чіткий математичний опис.

Будівлі або споруди, для яких створюються BIM – моделі завжди будуть мати деформації та відхилення від вертикалі та горизонталі, які обумовленні або похибками при будівництві або деформаціями через вік споруди.

Деформації які обумовлені віком завжди є самими складними для відтворення, тому що їх неможливо чітко описати математично і відтворити з високою точністю.

Для прикладу можна сказати, що саме з подібних причин, форма планети Земля було спрощена до еліпсу, оскільки її поверхня занадто складна аби її можна було описати чітким математичним рівнянням. Так сама ситуація складається і з BIM-моделями. Звичайно можна створити модель з точністю хмари – точок, але затрати праці, часу та фінансової складової вийдуть за межі практично будь-якого кошторису. Тому похибка в 25мм є оптимальним співвідношенням між параметрами ціна-якість.

Також треба зазначити, що зазвичай, замовники можуть висувати до окремих елементів певні вимоги до точності. Як приклад, стіни – 20мм, підлога та стеля 30мм, несучі металеві елементи – 15 мм, дах – 50мм. Гнучкі вимоги до точності та рівня деталізації дозволяють створити максимально оптимальне співвідношення затрат праці, часу на виконання, фінальної точності моделі та ціни.

3.3.1. Створення основних несучих елементів

Загальну схему роботи з хмарою точок відображено на рис. 3.3.1.1.

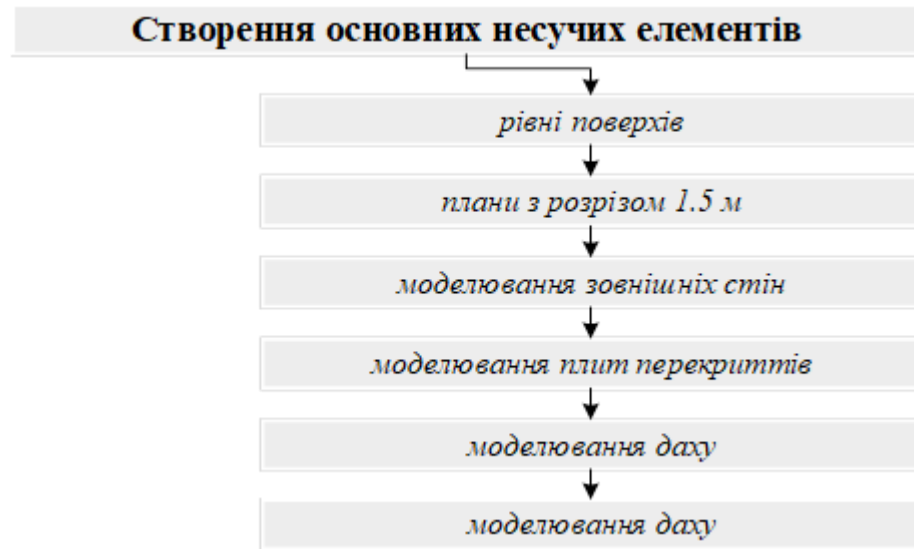


Рис. 3.3.1.1. Послідовність обробки хмари точок

Створення моделі треба починати з створення основних несучих елементів – стін, підлоги та стелі, даху. Після створення несучих елементів – так званої «коробки», вже розпочинати наповнення іншими елементами – сходи, вікна, двері, санітарне устаткування, архітектурне оздоблення і т.д. відповідно до рівня деталізації.

Перед початком створення «коробки» необхідно створити рівні поверхів будівлі до яких будуть «закріплюватися» всі елементи моделі.

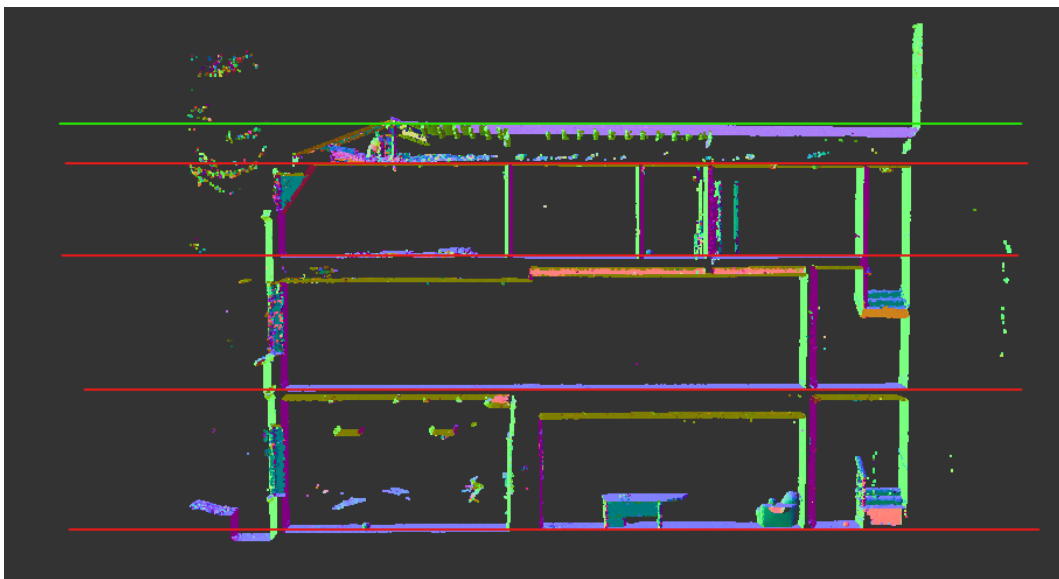


Рис. 3.3.1.2. Рівні поверхів будівлі

При огляді хмари точок, ми бачимо, що будівля має 2 основних поверхи – та мансардний поверх. Та найвища точка будівлі – пік даху, позначена зеленим кольором. Рівні будівлі доцільно створити на рівні підлоги на певній висоті відносно нуля проекту. Для визначення на якій висоті створити рівень та оцінити деформації підлоги доцільно використати функцію «розкрасити хмару за висотою» у програмному забезпеченні Autodesk ReCap.

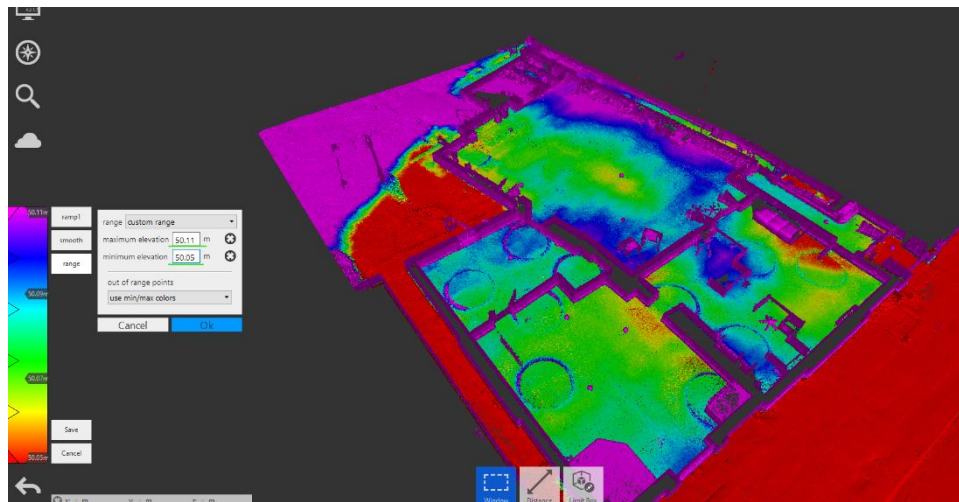


Рис. 3.3.1.3. Забарвлення хмари точок за зміною висоти

Враховуючи допустимі похибки на цей проект для підлоги 20-30мм, підбираємо оптимальне середнє значення межах ± 30 мм для всього поверху.

Для першого поверху оптимальною середньою позначкою буде середнє між верхнім – 50.11 та нижнім – 50.05 значеннями відхилень, тобто позначка 50.08.

Дану процедури повторюємо для всіх вище перерахованих поверхів і отримуємо опорні рівня для нашої «коробки».

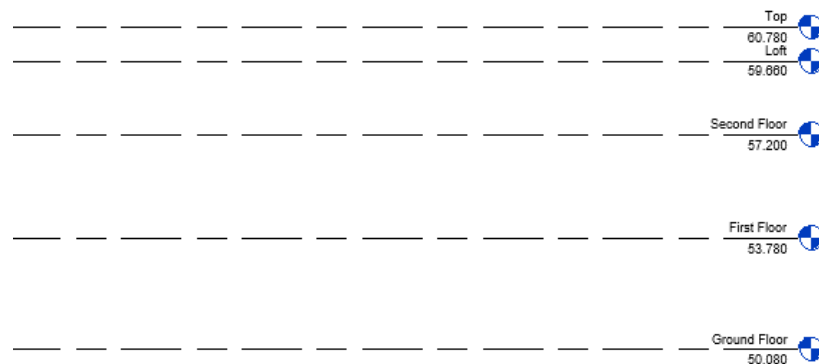


Рис. 3.3.1.4. Рівні поверхів

Після отримання ключових рівнів на їх основі створюємо плани в середовищі Revit з висотою розрізу 1.5м від поверхні підлоги. Рівень основного розрізу визначає замовник. В загальному рівень розрізу завжди створюються в межах 1-1.5м від рівня підлоги оскільки на цій висоті можна визначити положення всіх отворів – вікон, дверей і т.д. та отримати середнє планове положення в межах поверху.



Рис. 3.3.1.5. Зріз хмари точок на рівні 1,5 метри

Після створення плану першого поверху на висоті 1.5м від рівня підлоги з товщиною зрізу хмари 50мм ми наглядно бачимо положення всіх стін та отворів і можемо їх чітко відрізнити від шуму на хмарі.

Наступний етап створення «коробки» складається з моделювання зовнішніх стін будівлі – позначені червоним кольором.



Рис. 3.3.1.6. моделювання зовнішніх стін будівлі

Для прикладу візьмемо частину лівої зовнішньої та проаналізуємо її положення в плані та по вертикалі. Для положення в плані необхідно створити тимчасову опорну лінію, а для аналізу відхилень по вертикалі таку саму тимчасову лінію але у виді розрізу.

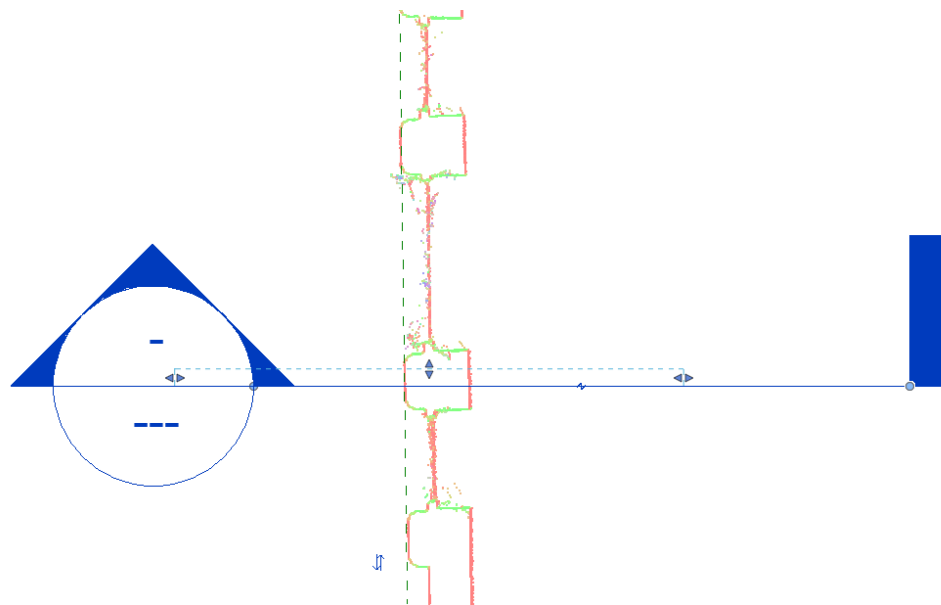


Рис. 3.3.1.7. Тимчасова опорна лінія

На рис. 3.3.1.8. тимчасова опорна лінія (зелена штрихова лінія), має «ідеальне» положення в плані та чудово співпадає з хмарою точок.

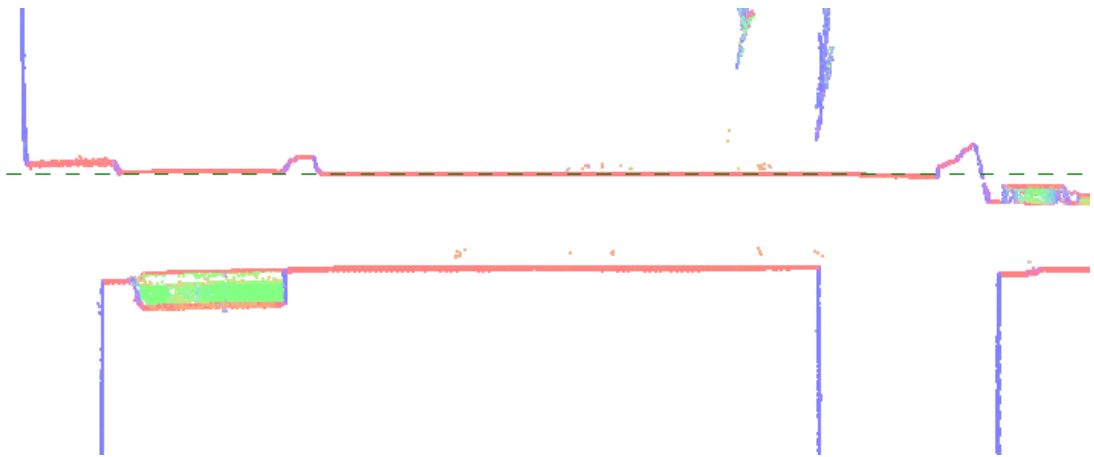


Рис. 3.3.1.8. Деталізована тимчасова опорна лінія (зображення повернуте на 90 градусів)

По вертикалі наша стіна також має чудове положення. Але слід зазначити, що несуча стіна на другому поверсі має інше положення в плані зі зміщенням в центр будівлі відносно стіни на першому поверсі. Також стіни першого поверху які приєднуються згори і знизу до обраної стіни прикладу маю зміщення в центр будівлі. Всі стіни будівлі на всіх поверхах які йдуть по лівій стороні будівлі слід створювати паралельними та перпендикулярними одна до одної, якщо цього дозволяє граничне відхилення в 20-30мм. Це потрібно для того щоб полегшити подальший процес моделювання і мати в фіналі охайну модель, без щілей та «зубів» між поверхами.

Після моделювання всіх зовнішніх стін створюються плити перекриття з прив'язкою до раніше створених рівнів підлоги та з урахуванням товщини перекриття та різних виступів.



Рис. 3.3.1.9. Визначення плити перекриття

В нашому випадку визначити товщину перекриття визначити неможливо, оскільки з однієї сторони перекриття зашито фальш-стелею. Тому

товщина перекриття та фальш-стелі обирається довільно в межах розумного.

Після створення всіх стін, та плит перекриття, приступаємо до даху. Дах зазвичай старих будівлях є найскладнішою частиною – оскільки він більш всього зазнає впливу деформацій від часу. Засобами ПЗ Revit відтворюємо форму даху.

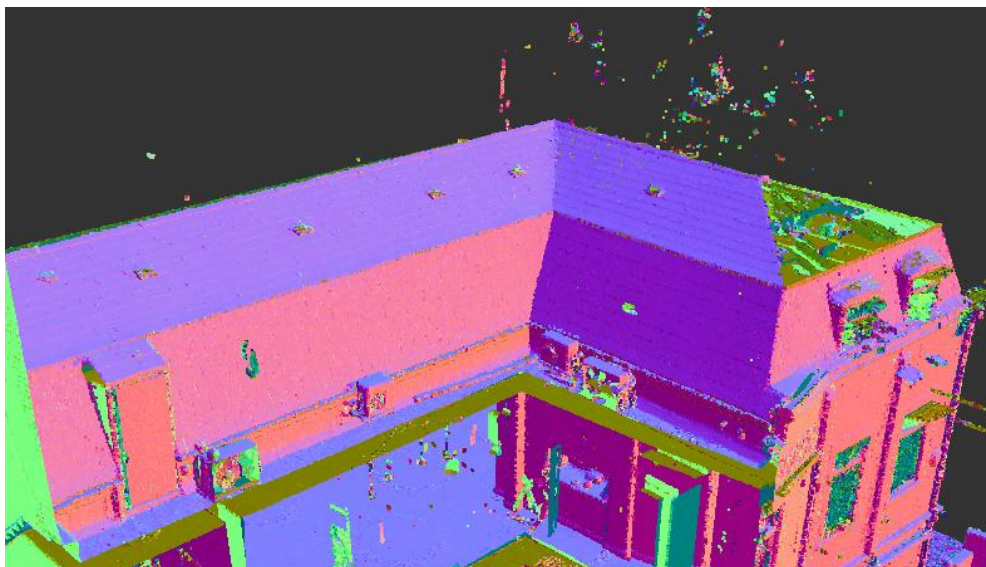


Рис. 3.3.1.10. Хмара точок даху споруди

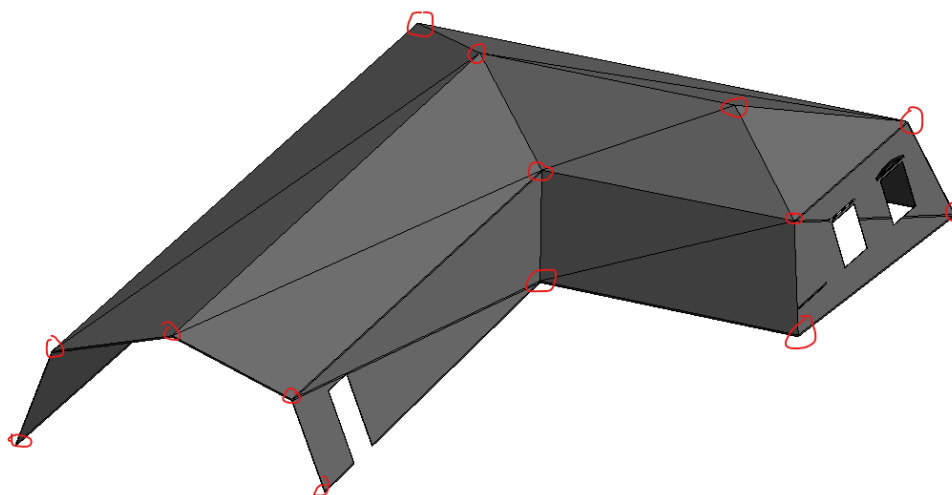


Рис. 3.3.1.11. Відтворення «базової рівної» форми в ПЗ Revit

Після відтворення «базової рівної» форми, за допомогою функції регулювання висот окремих точок вершин даху – позначенні червоним кольором підганяємо наш дах під хмару точок через вид секції.

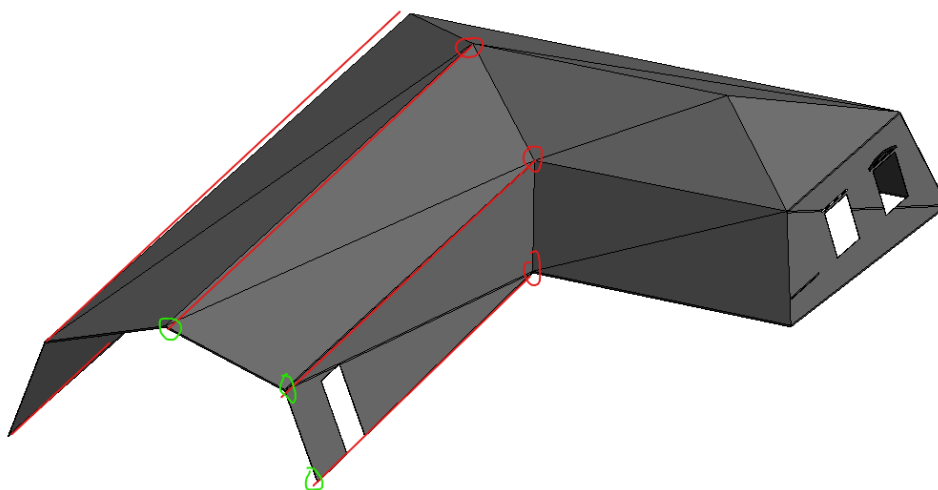


Рис. 3.3.1.12. Відтворення «базової рівної» форми в ПЗ Revit

При проектуванні та будівництві я високим рівнем впевненості можу сказати що вершини позначені червоним та зеленим кольором були на одній висоті. Але час бере своє , то вершини зазначені зеленим кольором мають висоту на 100мм нижчу ніж позначені червоним кольором.

Теж саме можна сказати про ребра позначені червоним кольором, вони , я певен проектувалися та будувалися паралельно один одному.

Але оглядаючи відхилення від планового положення від вертикальної червоної лінії можна бачити я відхилення стає все більшим від лівого до правого краю покрівлі.

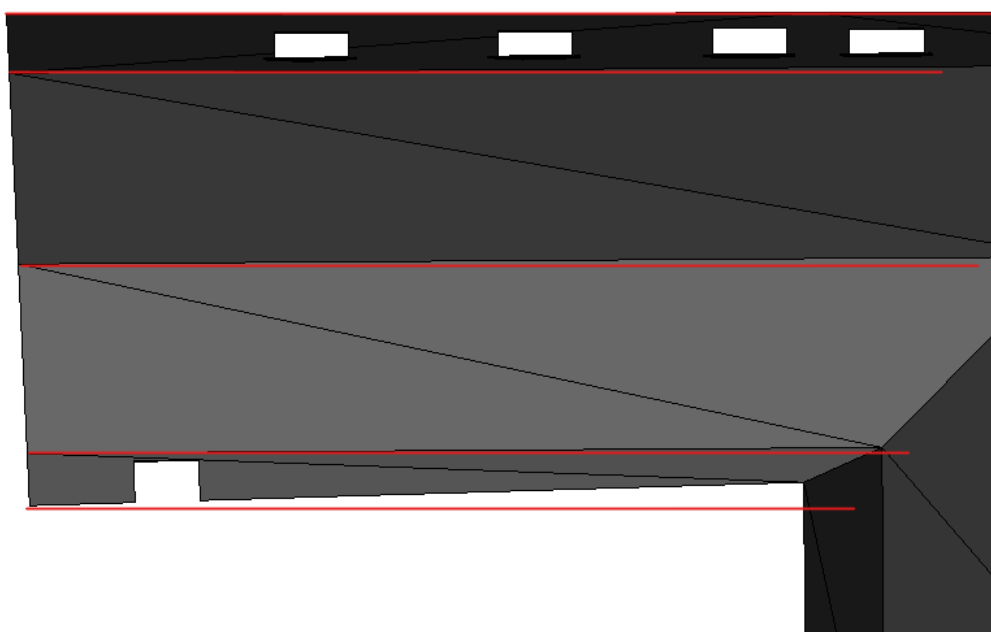


Рис. 3.3.1.13. Відхилення покрівлі від планового положення

3.3.2. Створення внутрішніх та зовнішніх об'єктів

Після побудови несучих елементів переходимо до наповнення будівлі як всередині так і ззовні. Принцип створення об'єктів як зовнішніх так і внутрішніх, як вікон і дверей, так і архітектурних елементів полягає в – створенні плоского креслення форми або профілю з наступними перетворенням в 3D об'єкт.

Як приклад через види секції викреслити основні частини вікна такі як рама вікна та підвіконня з подальшим їх об'єднанням в один 3D об'єкт і інтеграцією в «коробку»



а)

б)

Рис. 3.3.3.1. Моделювання вікна та підвіконня по хмарі точок (а – хмара точок, б – модель на основі хмари)

Після створення загальної моделі її обов'язково треба порівняння з хмарою точок. Загальна модель та результат порівняння наведений нижче.

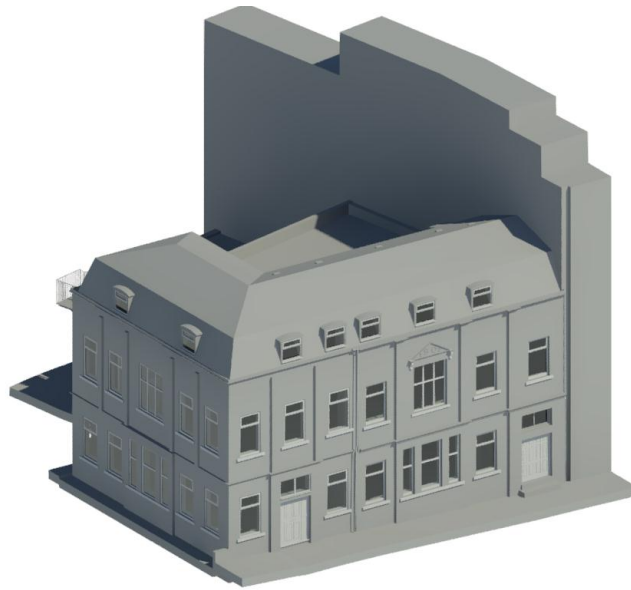


Рис. 3.3.3.2. Модель споруди

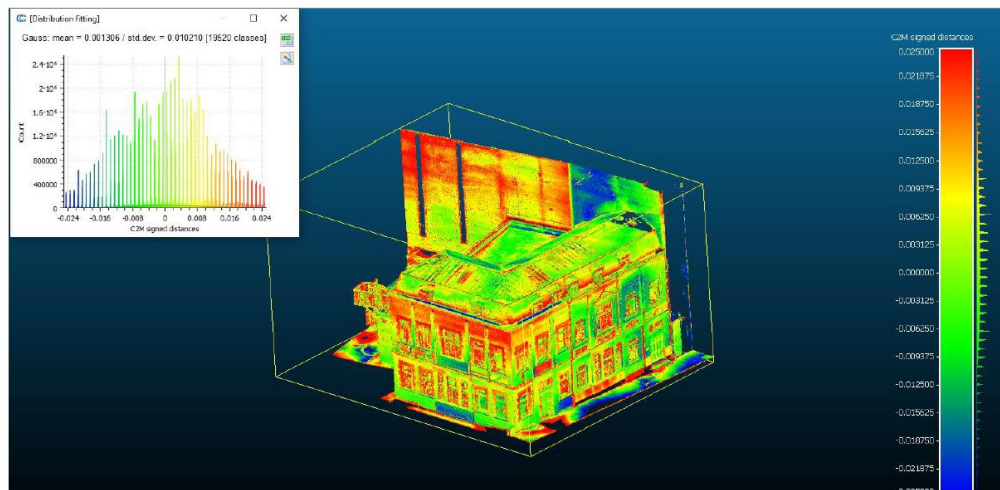


Рис. 3.3.3.3. Оцінка точності побудови моделі

З результатів порівняння ми бачимо що середня похибка по всій будівлі скаладе 10мм(зелений колір). Але також можна побачити де ця похибка більша за 10мм – червоний та синій кольори, в цих зона похибка склада 25мм.

Камеральна частиа а саме моделювання займає в рази більше часу та потребує більше знань та зусиль в порівнянні з польовими роботами. У висновку можу сказати, основна суть процесу моделювання полягає в тому – щоб розбити будівлю на якомога більше простих елементів і послідовно моделюючи їх збирати як конструктор всю будівлю. Для цього потрібно вміти аналізувати хмару точок, аналізувати кострукцію буділі та мати базові знання с сфері будівництва та конструкцій.

Розділ 4. Економіка та організація запроектованих робіт та техніка безпеки. Охорона праці

4.1. ОБ'ЄМ РОБІТ ТА КОШТОРИСНА ВАРТІСТЬ

Таблиця 4.1.1

Кошторисна вартість робіт з лазерного сканування фасадів споруди

Норм. документ № табл. норми	Назва процесів	Одиниця вимірювання	Категорія складності	Обсяг робіт
				В натуральних показниках
	1. Польові роботи			
	Створення ПВО			
ЗУКР табл. 1.2 п.0119	Рекогностування	пункт	III	15
ЗУКР табл. 1.10 п.01113	Виготовлення центрів полігонометрії 2 розряду	центр	-	4
ЗУКР табл. 1.13 п.01131	Закладання центрів на пунктах полігонометрії 2 розряду	центр	III	4
ЗУКР табл.1.19 п.01167 п.01177	Вимірювання кутів і ліній на пунктах полігонометрії 2 розряду	пункт	III	24
ЗУКР табл. 2.23	Польові роботи з сканування фасадів	пункт	III	20
ЗУКР табл. 2.23	Польові роботи з сканування внутрішніх приміщень	пункт	III	57
	2. Камеральні роботи			
ЗУКР табл 5.1 п.61585 п.61586	Попередні опрацювання матеріалів полігонометрії 2 розряду	пункт	-	24
ЗУКР п.061593	Врівноваження координат пунктів 2 розряду на ПК	пункт	-	24
ЗУКР табл.3.3 п.11860	Редагування зібраної цифрової інформації по фасаді	Кв. м	-	760

ЗУКР таб.3.3 п,11860	Редагування зібраної цифрової інформації по внутрішній частині споруди	Кв. м	-	1000
----------------------------	--	-------	---	------

Всього:	57,62
Камеральні:	50,01
Польові:	7,61

Кошторис на виконання робіт

Кошторис складається з використанням “Збірника укрупнених кошторисних розцінок на топографо-геодезичні та картографічні роботи”, затвердженого наказом Міністерства екології та природних ресурсів України №29/м від 19.02.2003 р.

Таблиця 4.1.2.

Відомість об’ємів робіт, трудових витрат, необхідних для виконання робіт

№ п/п	Назва роботи та її характеристика	Одиниця роботи	Категорія складності	№таблиці, пункту ЗУКР	Розцінка грн	Обсяг робіт	Вартість
1	2	3	4	5	6	7	9
1.	Виготовлення центрів полігонометрії 2 розр.	Центр	III	ЗУКР табл 1.10 п.01131	81.47	4	325.88
2.	Закладка центрів	центр	III	ЗУКР табл 1.13 п.01131	161.2	4	644.8
3	Рекогностування пунктів 2 розряду.	пункт	III	ЗУКР табл 1.2 п.0115	32.99	15	494.85
4	Вимірювання кутів і ліній на пунктах полігонометрії 2 розряду	пункт	III	ЗУКР табл 1.19 п.01167	117.92	24	2830.08
5	Маркування планово-висотних розпізнавальних знаків	знак	III	ЗУКР табл.2.8 п.02446	44.11	16	705.76
6	Попередні опрацювання матеріалів полігонометрії 2 розряду	пункт	III	ЗУКР табл.5.1 п.061586	33.69	24	808.56
7	Урівноваження координат пунктів 2 розряду	пункт	-	ЗУКР табл 5.6 п.061593	10.31	24	247.44
8	Польові роботи сканування фасаду	пункт	III	ЗУКР табл. 2.23	462,65	20	9253
8	Польові роботи сканування вн. частини	пункт	III	ЗУКР табл. 2.23	462,65	57	26371.05

	споруди						
9	Редагування зібраної цифрової інформації по фасаді	м2	III	ЗУКР табл.3.3 п.11860	284.53	760	216242.8
9	Редагування зібраної цифрової інформації по внутрішній частині споруди	м2	III	ЗУКР табл.3.3 п.11860	284.53	1000	284530
10	Паливно мастильні матеріали	л	-	-	30,70	60	1842

Всього по кошторису: 54429,22 грн

ПДВ: 20%

Разом: 653155,46 грн

4.2. Організація виконання польових робіт

Календарне планування — це процес складання й коригування розкладу, в якому роботи, що виконуються різними організаціями, взаємопов'язуються між собою в часі і з можливостями їх забезпечення різними видами матеріально-технічних та трудових ресурсів.

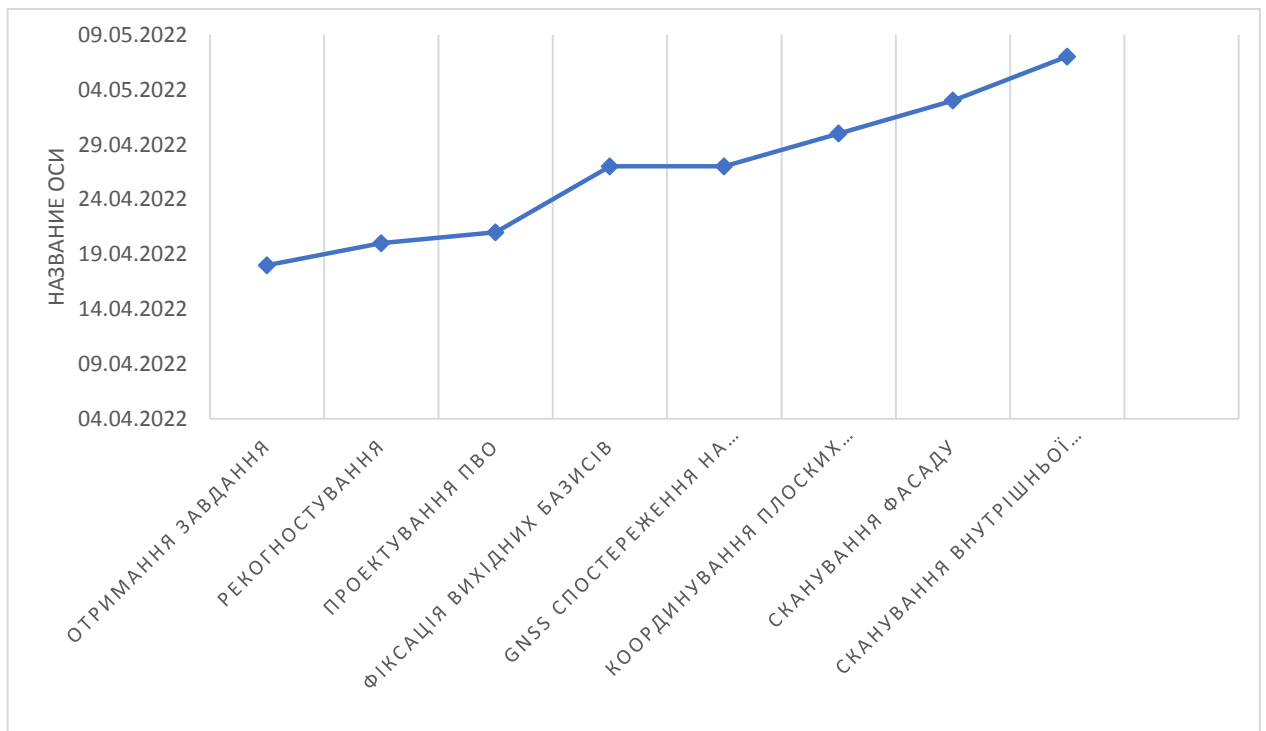


Рис.4.2.1. Календарний план виконання робіт із сканування фасадів споруди

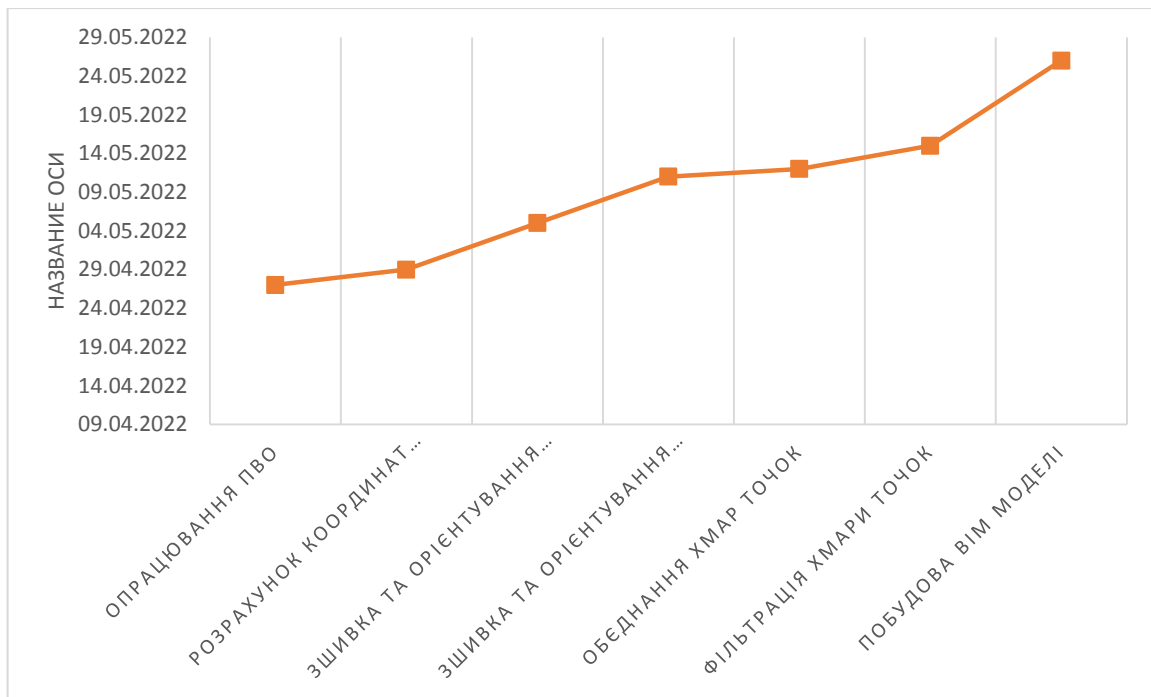


Рис.4.2.. Календарний план виконання робіт із сканування внутрішньої частини споруди

Для забезпечення робіт необхідне забезпечення транспортним засобом та паливно-мастильними матеріалами.

4.3. Безпека праці польових робіт при виконанні інженерно-геодезичних робіт

Інженерно-геодезичні роботи виконують у різних умовах: на територіях міст і промислових об'єктів, у лісових і важкодоступних місцях, на ділянках залізних й автомобільних доріг, на зводимих будинках і спорудах і т.д. Для попередження нещасних випадків і травм у цих умовах всі роботи повинні виконуватися з дотриманням спеціальних правил й інструкцій з техніки безпеки. З метою ознайомлення всіх без винятку працюючих із цими правилами проводяться спеціальні інструктажі. Розрізняють інструктаж вступний і на робочому місці. Повторний інструктаж проводиться через установлений час і при впровадженні нової технології, нового обладнання й при введенні нових правил по техніці безпеки.

При виконанні геодезичних робіт на будівельних майданчиках насамперед дотримуються загального правила техніки безпеки будівництва.

До початку польових топографо-геодезичних робіт у міських умовах, населених пунктах і на територіях промислових об'єктів установлюють схеми розміщення схованих об'єктів: підземних комунікацій і споруд. При роботі в місті необхідно знати правила дорожнього руху; при роботі на проїзних частинах треба надягати демаскуючу (жовтогарячу) одяг і виставляти огорожувальні щити. Проведення робіт на вулицях і площах з інтенсивним рухом погоджують із ГИБДД.

По проїзній частині дороги дозволяється ходити тільки в крайки тротуару назустріч, що йде транспорту, - у такому напрямку й ведуться виміри в ходах. Забороняється залишати геодезичні прилади без нагляду на проїзних частинах вулиць і доріг.

Висоту підвіски проводів ліній електропередач, електропідстанцій визначають, не стосуючись проводів рейками, рулетками, вішками, аналітичним шляхом. Рейки, вішки й інші предмети, застосовувані для вимірів, не дозволяється підносити ближче чим на 2м до електропроводів, у тому числі контактним на залізницях і трамвайних лініях.

При закладці тимчасових колів, штирів й інших знаків їхню верхню частину забивають урівень із поверхнею землі, а їхня довжина не повинна бути більше 15см.

При геодезичних вимірах, виконуваних у процесі земляних, кам'яних, бетонних і монтажних робіт, дотримують правил безпеки, що пропонують для даних будівельних робіт.

При будівлі й закладці геодезичних знаків виконують наступні правила.

До робіт допускаються тільки особи, що мають спеціальну підготовку, що пройшли навчання безпечним методам ведення робіт із закладки знаків.

Заготівлю деталей знаків ведуть на землі, роботи виконують сокирою й пилюкою. При протесанні колод не можна притримувати їхніми ногами - колоду закріплюють на підкладках П-подібними скобами, стежать за тим, щоб сокира

не зісковзнула на ногу. Розколюючи чурбаки, не можна притримувати їхньою ногою.

При зборці металевих знаків гайкові ключі, якими користуються верхолази, прив'язують лямками до кистей рук. Гвинти, болти, шайби зберігають

ВИСНОВОК

В дипломній роботі запропоновано використання комбінованого методу лазерного сканування та тахеометричного знімання при виконанні геодезичних робіт з обмірів фасадів споруди та внутрішніх приміщень.

Зв'язок з місцевою системою координат забезпечено за допомогою координування вихідних базисів GNSS методами в режимі RTK.

Лінійно-кутові спостереження із станцій вихідних базисів між собою та на плоскі марки надають змогу прив'язати окремі станції сканування в єдину систему координат з точністю в межах допуску для споруди.

Метод лазерного сканування дозволить забезпечити швидкість знімання фасадів споруди та високу деталізацію архітектурних елементів.

В зв'язку із складністю створення геодезичної основи, що викликана наявністю великої кількості підсобних приміщень та складної конфігурації самих приміщень, знімання внутрішніх приміщень споруди запропоновано виконувати лише за допомогою лазерного сканера, а створення геодезичної основи виконувати методом прокладання сканерних ходів.

Запропоновано схему попереднього розрахунку точності виконання вимірювань за допомогою лазерного сканера та створення відповідної геодезичної основи.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. https://www.linkedin.com/pulse/%D1%83%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B5%D0%BD%D1%8C-%D0%B4%D0%B5%D1%82%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D0%B7%D0%B0%D1%86%D0%B8%D0%B8-%D0%B2-bim-lod-loi-bogdan-dorodko-1f?trk=public_profile_article_view
2. <https://www.proekt.od.ua/2019/05/blog-post.html>
3. <https://lpnu.ua/sites/default/files/2020/dissertation/3806/disnaminatos.pdf>
4. Волошин, В. У., Мельник, В. О., Вакулюк, Л. А., & Рудик, О. В. (2021). 3d фотограмметрія в архітектурі, містобудуванні та збереженні культурної спадщини. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*, (16), 26-37.
5. Boochs, F. Lowcost image based system for nontechnical experts in cultural heritage documentation and analysis./ F. Boochs, G. Heinz, U. Huxhagen, H. Müller, // International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 2007 pp. 165–170
6. Remondino, F. Reality-based 3D documentation of natural and cultural heritage sites— techniques, problems, and examples. / F. Remondino, A. Rizzi, // Applied Geomatics, 2(3), 2010, pp.85–100.
7. Reu, J.D. Towards a three-dimensional costeffective registration of the archaeological heritage. / J.D. Reu, G. Plets, G. Verhoeven, P.D. Smedt, M. Bats,
8. B. Cherretté, W.D. Maeyer, J. Deconynck, D. Herremans, P. Laloo// Journal of Archaeological Science, 40(2), 2013, pp.1108–1121.
9. Dhonju, H. K. Feasibility Study of Low-cost Image-Based Heritage Documentation in Nepal/ H. K. Dhonju, W. Xiao, V. Sarhosis, J. P. Mills, S. Wilkinson, Z. Wang, L. Thapa, U. S. Panday, // Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., vol. XLII-2/W3, 2017, pp. 237- 242.
10. Gonizzi Barsanti, S., Remondino, F. and Visintini, D. 3D Surveying and Modelling of Archaeological Sites /S. Gonizzi Barsanti, F. Remondino, D.

Visintini // ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf.Sci., II-5/W1, 2013, pp. 145-150

11. Дорожинський О.Л. Аналітична та цифрова фотограмметрія: навч. посіб. для студ. вузів. Львів: видавництво НУ Львівська політехніка, 2002. 164 с.
13. Гнера В.А. Застосування аерофотограмметричних методів дистанційного зондування земної поверхні в археології. 2012. К. Праці Центру пам'яткознавства, вип. 21. С. 76-91.
14. Сингатулин Р.А. Фотограмметрические технологии в археологии (краткий исторический очерк) // Исторические, философские, политические и юридические науки, культурология и искусствоведение. Вопросы теории и практики. Тамбов : Грамота, 2013. №3. С. 148–152.
15. Łukasz J. Bednarz, Jerzy Jasieńko, Marcin Rutkowski, Tomasz P. Nowaka. (2014) Strengthening and long-term monitoring of the structure of an historical church presbytery. *Engineering Structures*, Vol.81. DOI:10.1016/j.engstruct.2014.09.028
16. <https://leica-geosystems.com/ru/products/laser-scanners/laser-scanning-industry-applications>
17. <https://hivevp.com/3d-laser-scanning-for-chemical-plant-applications/>
18. <https://www.e-arc.com/blog/4-use-cases-for-3d-laser-scanning-in-construction/>
19. Rudneva, I. (2021). Application of laser scanning for monitoring condition of buildings and structures during reconstruction . *International Scientific Journal "Transfer of Innovative Technologies"*, 4(1), 33–36. <https://doi.org/10.32347/tit2141.0106>
20. D. Chen, L. Zhang, P. T. Mathiopoulos and X. Huang, "A Methodology for Automated Segmentation and Reconstruction of Urban 3-D Buildings from ALS Point Clouds," in *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, vol. 7, no. 10, pp. 4199-4217, Oct. 2014. doi:10.1109/JSTARS.2014.2349003

URL: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6892943&isnumber=6994884>

- 21.R. Li, J. Liu, L. Zhang and Y. Hang, "LIDAR/MEMS IMU integrated navigation (SLAM) method for a small UAV in indoor environments," *2014 DGON Inertial Sensors and Systems (ISS)*, Karlsruhe, Germany, 2014, pp. 1-15.

doi:10.1109/InertialSensors.2014.7049479

URL: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=7049479&isnumber=7049398>

- 22.Y. Cui, Q. Li, B. Yang, W. Xiao, C. Chen and Z. Dong, "Automatic 3-D Reconstruction of Indoor Environment With Mobile Laser Scanning Point Clouds," in *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, vol. 12, no. 8, pp. 3117-3130, Aug. 2019.

doi:10.1109/JSTARS.2019.2918937

URL: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8736013&isnumber=8845834>

- 23.Y. Yang, C. Feng, Y. Shen and D. Tian, "FoldingNet: Point Cloud Auto-Encoder via Deep Grid Deformation," *2018 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, Salt Lake City, UT, USA, 2018, pp. 206-215.

doi:10.1109/CVPR.2018.00029

URL: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8578127&isnumber=8578098>

- 24.H. Deng, T. Birdal and S. Ilic, "PPFNet: Global Context Aware Local Features for Robust 3D Point Matching," *2018 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, Salt Lake City, UT, USA, 2018, pp. 195-205.

doi:10.1109/CVPR.2018.00028

URL: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8578126&isnumber=8578098>

- 25.A. Zeng, S. Song, M. Nießner, M. Fisher, J. Xiao and T. Funkhouser, "3DMatch: Learning Local Geometric Descriptors from RGB-D Reconstructions," *2017 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, Honolulu, HI, USA, 2017, pp. 199-208. doi:10.1109/CVPR.2017.29
URL: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8099512&isnumber=8099483>
- 26.Abanda, F. H., Vidalakis, C., Oti, A. H., Tah, J. H. M. (2015). A critical analysis of building Information Modelling systems used in construction projects. *Advances in Engineering Software*, 90(C), 183–201.
- 27.Arayci, Y., Coates, P., Koskela, L., & Hagioglou, M. (2012). BIM adoption and implementation for architectural practices. *Structural Survey*, 29(1), 7–25.
- 28.Bosché, F., Ahmed, M., Turkan, Y., Haas, C. T., Haas, R. (2015). The value of integrating scan-to-BIM and scan-vs-BIM techniques for construction monitoring using laser scanning and BIM: The case of cylindrical MEP components. *Automation in Construction*, 49(B), 201–213.
- 29.Ceccarelli, S., Guarnieri, M., Fantoni, R., Giacomini, G., & Danielis, A. (2017). Colorimetric study on optical data from 3D laser scanner prototype for cultural heritage applications'. In M. Ciccarelli, M. Cigola, & G. Recinto (Eds.), *New Activities For Cultural Heritage* (pp. 190–199). Cham: Springer.
- 30.Dixit, M. K., Venkatraj, V., Ostadalimakhmalbaf, M., Pariafsai, F., Lavy, S. (2019). Integration of facility management and building information modelling (BIM): A review of key issues and challenges. *Facilities*.<https://doi.org/10.1108/F-03-2018-0043>.
- 31.Eadie, R., Browne, M., Odeyinka, H., McKeown, C., & McNiff, S. (2013). BIM implementation throughout the UK construction project lifecycle: An analysis. *Automation in Construction*, 36, 145–151.
- 32.El-Omari, S., & Moselhi, O. (2008). Integrating 3D laser scanning and photogrammetry for progress measurement of construction work. *Automation in Construction*, 18(1), 1–9.

33. Gerbino, S., Del Giudice, D. M., Staiano, G., Lanzotti, A., & Martorelli, M. (2015). On the influence of scanning factors on the laser scanner-based 3D inspection process. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 84(9–12), 1787–1799.
34. Giordano, C. (2014). Il patrimonio immobiliare sta invecchiando: il 37% delle case ha più di 40 anni e vale di meno', *Il sole 24 ore*. https://www.casa24.ilsole24ore.com/art/mercato-immobiliare/2014-11-18/patrimonio-immobiliare-invecchiando-casa-121512.php?uuid=AbXBireK&refresh_ce=1. Accessed 11 8 2019.
35. Gronostajski, Z., Hawryluk, M., Kaszuba, M., & Ziemia, J. (2016). Application of a measuring arm with an integrated laser scanner in the analysis of the shape changes of forging instrumentation during production. *Eksploatacja i Niezawodność*, 18(2), 194–200.
36. He, Y., Linag, B., Yang, J., Li, S., & He, J. (2017). An iterative closest point s algorithm for registration of 3D laser scanner point clouds with geometric features. *Sensors*, 17(8), 1862–1868.
37. Isa, M. A., & Lazoglu, A. (2017). Design and analysis of a 3D laser scanner. *Measurement*, 111, 122–133.
38. Janus, J., Krzwczyk, J. (2018). Numerical modelling of flow phenomena in mine drift using laser scan results. In: X. Chang (ed) *Proceedings of the 11th International Mine Ventilation Congress* (pp.876–887). Singapore: Springer.
39. Jung, J., Hong, S., Jeong, S., Kim, S., Cho, H., Hong, S., & Heo, J. (2014). Productive modelling for development of as-built BIM of existing indoor structures. *Automation in Construction*, 42, 68–77.
40. Kapliński, O. (2018). Innovative solutions in construction industry. Review of 2016–2018 events and trends. *Engineering Structures and Technologies*, 10(1), 27–33.
41. «Проектування геометрических параметров наземного лазерного сканирования при контролі деформаційних будинків і споруд в умовах

- щільної забудови.» / Д.А. Афонін, М.Я. Бринь, Е.Г. Толстов// Геодезія і картографії -2013.
- 42.«Створення трьохмірної моделі архітектурного об'єкту по даним наземного лазерного сканування»/Е.С. Богданец, А.А. Кривенко, В.В. Мусихин/ -2007.
- 43.ДСТУ Б Д.1.1-7:2013.Правила визначення вартості проектно-вишукувальних робіт та експертизи проектної документації на будівництві.
- 44.«Основи наземної лазерно-сканувальної зйомки» Навчальний посібник/ В.Н Гусев. – Санкт-Петербург; СПГГІ., 2007.
- 45.«Методя побудови отрозображень складних архітектруних поверхонь по даним наземного лазерного сканування./ В.І. Павлов// Звістки ВУЗов, «Геодезія та аерофотозйомка». – 2011. -№6.
- 46.Інформаційний сайт компанії Leica Geosystem: <https://ngc.com.ua/p/861-leica-gs07.html>
- 47.Інформаційний сайт компанії Leica Geosystem: https://ngc.com.ua/article/01_2019/51.html
- 48.Інформаційний сайт компанії Autodesk: <http://www.autodesk.com/products/recap/overview>
- 49.Інформаційний сайт компанії Faro: <http://www.faro.com/products/farosoftware>

ДОДАТКИ

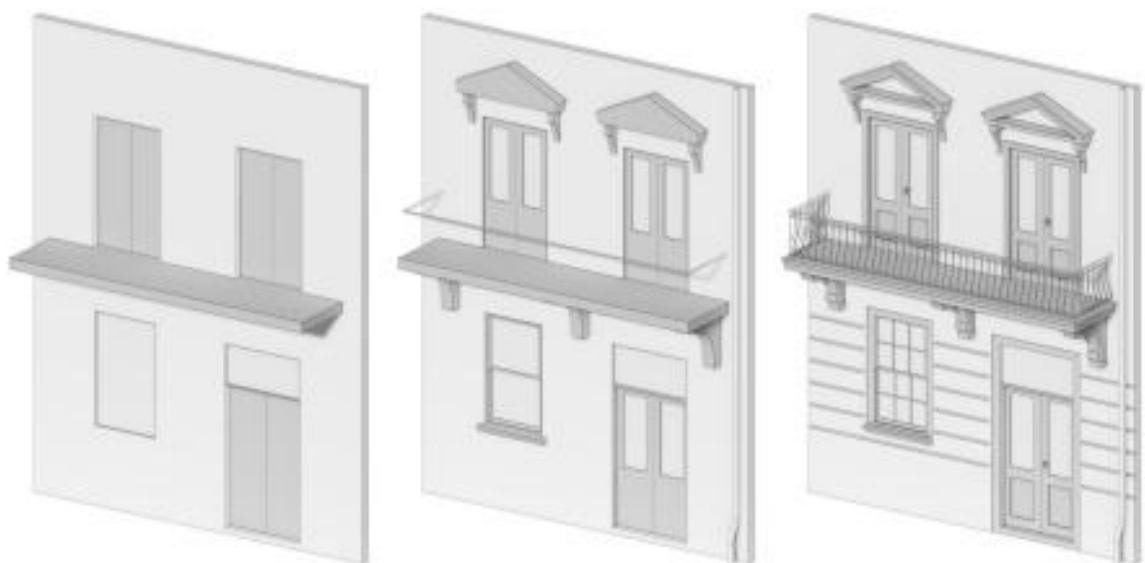
Додаток 1

Відображення рівня LOD3

Level 3 – Basic Architectural model



Facade Details



Level 2

Level 3

Level 4

Додаток 2

Walls

 Level 2/3 Level 4

Floors

 Level 2/3 Level 4

Roofs

 Level 2 Level 3 Level 4

Додаток 3

Ceilings

 Level 2/3 Level 4

Windows

 Level 2 Level 2.5 Level 3 Level 4

Doors

 Level 2 Level 2.5 Level 3 Level 4

Structure

 Level 2 Level 3 Level 4