

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**

**ФАКУЛЬТЕТ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ
ТА УПРАВЛІННЯ ТЕРИТОРІЯМИ**

Кафедра Інженерної геодезії

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

на тему:

Створення 3D моделі будинку за допомогою лазерного сканера

Бурсак Владислав Віталійович
(прізвище, ім'я та по батькові студента повністю)

Київ 2025 р.

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**

**ФАКУЛЬТЕТ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ
ТА УПРАВЛІННЯ ТЕРИТОРІЯМИ**

Кафедра Інженерної геодезії

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ІГ

“ ___ ” _____ 20__ року

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

Створення 3D моделі будинку за допомогою лазерного сканера

(назва)

Виконав студент групи ГД-21

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

Спеціалізація: **193.01 «Геодезія»**

Бурсак Владислав Віталійович

(прізвище, ім'я та по батькові повністю)

Керівник: Адаменко О.В.

(прізвище та ініціали)

доцент, кандидат технічних наук

(вчене звання, науковий ступінь)

Ідентичність підтверджую

Київ 2025 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 ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ БАКАЛАВРА**

Бурсак Владислав Віталійович

(прізвище, ім'я та по батькові студента)

1. Тема роботи «Створення 3D моделі споруди за допомогою лазерного сканера» затверджена наказом ректора КНУБА № _____ від “ ____ ” _____ 20__ року.
2. Керівник роботи: Адаменко Олександр Вікторович, доцент, к.т.н. _____
(прізвище, ім'я та по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
3. Строк подання студентом роботи до захисту: _____
4. Зміст пояснювальної записки за розділами:
 - Р. 1. Загальні відомості про BIM моделювання
 - Р. 2. Геодезичні роботи при проведенні обмірів фасадів споруд
 - Р. 3. Створення 3D-моделі споруди в Autodesk Revit
 - Р. 4. Техніка безпеки під час виконання геодезичних обмірних робіт

5. Графічний матеріал за розділами:

- Р. 1. Загальна характеристика об'єкту робіт
- Р. 2. Визначення необхідної точності виконання геодезичних робіт
- Р. 3. Планово-висотна опорна геодезична мережа
- Р. 4. Методика виконання обмірних робіт
- Р. 5. Характеристика 3D-моделей споруд
- Р. 6. Створення 3D-моделі споруди

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

Види робіт та їх зміст	Дата виконання
Вступ	21.04.2025
Розділ 1. Загальні відомості про BIM моделювання	01.05.2025
Розділ 2. Геодезичні роботи при проведенні обмірів фасадів споруд	12.05.2025
Розділ 3 Створення 3D-моделі споруди в Autodesk Revit	26.05.2025
Розділ 4. Техніка безпеки під час виконання геодезичних обмірних робіт	02.06.2025
Висновки	09.06.2025
Попередній захист роботи на кафедрі	13.06.2025

7. Консультанти розділів атестаційної випускної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Перевірів	
		дата	підпис
Розділ 1.			
Розділ 2.			
Розділ 3.			
Розділ 4.			
Розділ 5.			

8. Дата видачі завдання: _____

Зав. кафедри ІГ
(підпис)

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

Керівник

(підпис)

Адаменко О.В.
(прізвище та ініціали)

Студент

(підпис)

Бурсак В.В.
(прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

Вступ.....	7
Розділ 1. Загальні відомості про ВІМ моделювання.....	8
1.1. Методи виконання обмірних робіт.....	8
1.2. Вимоги до точності вимірювань та побудови моделі споруди.....	10
1.3. Характеристика об'єкту вимірювань.....	14
1.4. Характеристика 3D моделей споруд.....	17
Розділ 2. Геодезичні роботи при проведенні обмірів фасадів споруд.....	19
2.1. Визначення необхідної точності виконання геодезичних вимірювань.....	19
2.2. Створення планово-висотної опорної геодезичної мережі для забезпечення виконання обмірних робіт.....	20
2.3. Методика виконання вимірювань фасадів споруди за допомогою наземного лазерного сканера.....	35
2.4. Методика виконання обмірів внутрішніх приміщень споруди.....	39
2.5. Оброблення результатів вимірювань, створення «хмари точок» об'єкту вимірювань.....	41
Розділ 3. Створення 3D моделі споруди в Autodesk Revit.....	48
3.1. Відтворення осей та рівнів об'єкту вимірювань.....	48
3.2. Створення несучих елементів споруди (стін, перекриттів).....	49
3.3. Створення сімейств для побудови будівельних конструкцій.....	57
Розділ 4. Техніка безпеки під час виконання геодезичних обмірних робіт та кошторис.....	65
Висновок.....	73
Список літератури.....	74

ВСТУП

У сучасних умовах будівельна галузь активно трансформується під впливом новітніх технологій, зокрема тривимірного лазерного сканування. Інноваційні методи, такі як наземне лазерне сканування (НЛС), відкривають широкі можливості для швидкого та точного створення цифрових моделей споруд, що має велике значення для проектування, реконструкції та експлуатації об'єктів.

Актуальність обраної теми дипломної роботи «Створення 3D моделі будинку за допомогою лазерного сканера» обумовлена необхідністю використання високоточних методів геодезичних вимірювань для забезпечення ефективного контролю геометричних параметрів будівель, а також оптимізації процесів будівництва та реставрації споруд. Для реалізації поставлених завдань було проведено аналіз теоретичних аспектів і сучасних методів ВІМ-моделювання та 3D-сканування, визначено оптимальні методи і технічні засоби виконання обмірних робіт, обґрунтовано необхідну точність геодезичних вимірювань для створення 3D-моделей. Також була розроблена планово-висотна опорна геодезична мережа, запропонована методика проведення лазерного сканування фасадів та внутрішніх приміщень споруд, а також проведено оброблення отриманих даних із подальшим створенням «хмари точок».

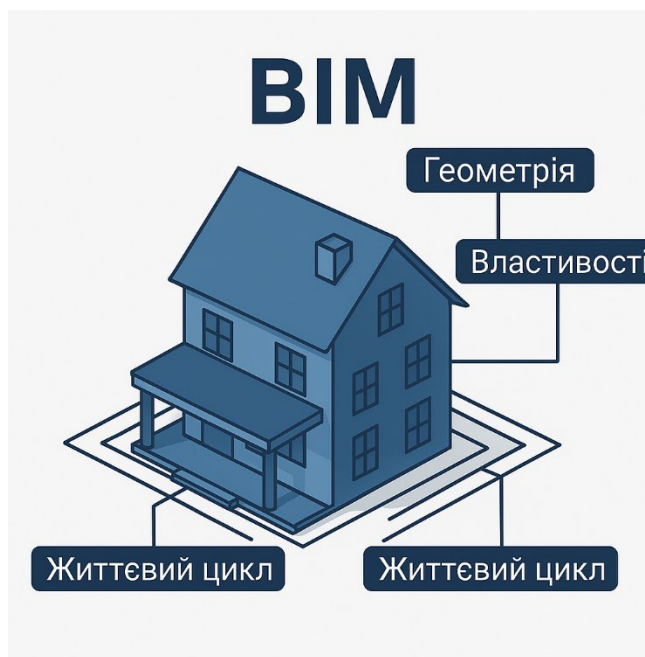
Предметом дослідження є процес створення тривимірної моделі споруди з використанням наземного лазерного сканування та комплекс геодезичних робіт, необхідних для її реалізації. У роботі були застосовані методи аналізу науково-технічної літератури, геодезичні вимірювання із застосуванням тахеометрів та лазерних сканерів, а також математична обробка отриманих результатів.

Практичне значення роботи полягає у вдосконаленні методики лазерного сканування, що дозволяє підвищити точність, скоротити терміни та оптимізувати процеси обмірних робіт. Результати дослідження можуть бути використані в проектних організаціях для створення високоточних цифрових моделей, необхідних для будівництва та реконструкції споруд.

Розділ 1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО BIM МОДЕЛЮВАННЯ

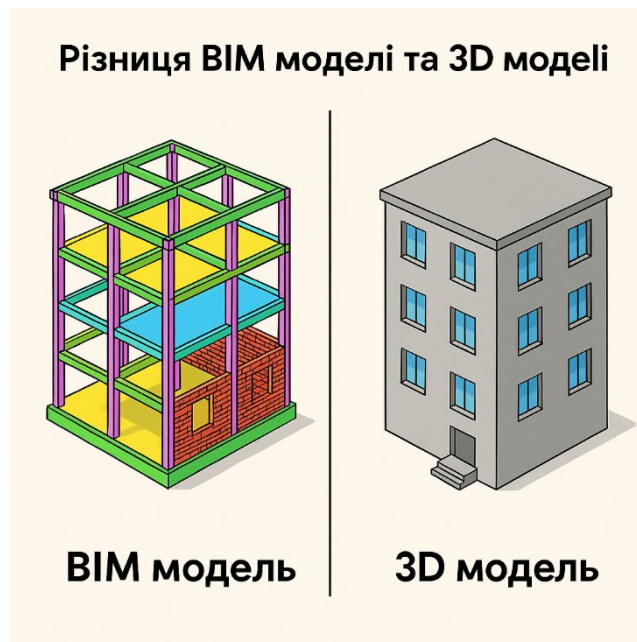
1.1. Методи виконання обмірних робіт

3D-моделі та BIM-моделі мають спільну основу у тривимірному відображенні об'єктів, проте їх функціональне призначення, структура та сфера застосування суттєво відрізняються. 3D-модель являє собою тривимірне геометричне відтворення об'єкта, яке базується на використанні точок, поверхонь та об'ємів. Вона відображає виключно геометричну форму споруди без додаткових характеристик. Основне призначення 3D-моделей полягає у візуалізації та представленні об'єкта у тривимірному просторі, що особливо корисно для архітектурних презентацій або проведення базового аналізу конструкцій.



На відміну від 3D-моделей, BIM-модель (Building Information Model) поєднує в собі не лише геометричне представлення об'єкта, а й широкий набір інформаційних атрибутів. Окрім тривимірної форми, вона містить дані про матеріали, фізико-механічні властивості конструкцій, стадії будівництва, параметри експлуатації тощо. Завдяки цьому BIM-моделі дозволяють проводити комплексний аналіз, планувати будівництво, ефективно управляти ресурсами та здійснювати контроль на всіх етапах життєвого циклу об'єкта. Головна відмінність між цими двома підходами полягає в тому, що 3D-модель є

статичною і передає лише зовнішній вигляд об'єкта, тоді як BIM-модель виступає як динамічна інформаційна система, яка інтегрує всі аспекти проектування, будівництва та експлуатації будівлі.



Обмірні роботи є невід'ємною частиною інженерних, будівельних та реставраційних процесів, оскільки забезпечують точне визначення параметрів об'єкта, його геометричних характеристик, розташування окремих конструктивних елементів та інженерних систем. Отримані дані мають вирішальне значення для проектування, реконструкції, моніторингу технічного стану споруд та створення цифрових моделей. Точність і достовірність обмірних робіт сприяє оптимізації будівельних процесів, підвищенню рівня безпеки та ефективному управлінню експлуатацією об'єкта.

Для кожного з методів характерні свої особливості, переваги та недоліки. Одним із найпростіших і найдоступніших методів є традиційні методи обмірів, які базуються на використанні механічних рулеток і нівелірів. Ці інструменти дозволяють виконувати базові вимірювання лінійних розмірів і висотних відміток. Основною перевагою такого підходу є його простота та низька вартість обладнання. Проте точність традиційних методів часто обмежена людським фактором, а також можливими похибками під час зчитування показань. Вони

підходять для невеликих і нескладних об'єктів, але можуть бути непридатними для складних конструкцій.

Серед оптико-механічних методів слід виділити використання теодолітів і тахеометрів. Теодоліти забезпечують високу точність вимірювання кутів, що робить їх незамінними для задач середньої складності, наприклад, у геодезії та будівництві. Тахеометри, зокрема електронні, здатні одночасно вимірювати кути й відстані, що значно прискорює процес збору даних. Крім того, електронні тахеометри можуть генерувати тривимірні моделі об'єктів, що є значною перевагою для роботи з багатокомпонентними системами. Незважаючи на переваги, оптико-механічні методи потребують більше часу для проведення обмірів і спеціальних навичок для роботи з обладнанням.

Лазерне сканування є найсучаснішим і найефективнішим методом обмірних робіт. Воно базується на використанні лазерних сканерів, які випромінюють імпульси світла, що відбиваються від поверхонь об'єкта і фіксуються приладом. Цей метод дозволяє створювати надзвичайно точні й детальні тривимірні моделі у вигляді «хмари точок», що відображає геометрію об'єкта. Лазерне сканування має низку переваг: воно забезпечує високу швидкість роботи, мінімізує вплив людського фактора, дозволяє отримувати дані навіть у важкодоступних місцях і обробляти великі обсяги інформації. Завдяки своїй універсальності цей метод широко використовується для реставрації історичних пам'яток, аналізу складних інженерних споруд і створення цифрових копій будівель. Однак лазерне сканування вимагає значних фінансових вкладень для придбання обладнання, а також спеціальної підготовки фахівців для роботи з отриманими даними.

Фотограмметрія є ще одним сучасним методом обмірних робіт, який базується на використанні фотографій для створення тривимірних моделей об'єктів. Для цього об'єкт фотографується з різних ракурсів, а отримані знімки обробляються за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення. Цей метод дозволяє отримати детальну модель об'єкта, що є особливо важливим у випадках, коли лазерне сканування неможливе або недоцільне. Фотограмметрія

має низку переваг: вона є доступнішою за вартістю, а обладнання для виконання обмірів легко транспортується. Проте якість і точність отриманих моделей значною мірою залежать від умов освітлення, роздільної здатності камери та навичок оператора.

Комбіновані методи передбачають інтеграцію кількох підходів для досягнення максимальної точності обмірів. Наприклад, лазерне сканування може бути використане для створення загальної тривимірної моделі об'єкта, а традиційні методи – для деталізації окремих його елементів. Такий підхід дозволяє врахувати переваги кожного з методів і досягти найкращого результату для вирішення конкретних задач.

Обмірні роботи є ключовим етапом багатьох інженерних процесів. Вибір методу залежить від складності об'єкта, поставлених задач і технічних вимог до точності. Сучасні технології значно розширюють можливості проведення таких робіт, дозволяючи досягати високої точності й ефективності.

1.2. Вимоги до точності вимірювань та побудови моделі споруди

Сучасне наземне лазерне сканування (НЛС) є відносно новою технологією, і в Україні поки що немає чітко визначених нормативних документів, які регулювали б її застосування та вимоги до точності. Відсутні стандарти, що визначають точність використання НЛС у різних сферах, як це, наприклад, передбачено у ДБН В.1.3.-2-2010 для геодезичних робіт у будівництві. Лазерне сканування як метод виконання геодезичних робіт згадується в ДБН А.2.1-1-2014 «Інженерні вишукування для будівництва», проте наразі цей ДБН є недійсним.

Згідно з Законом України «Про топографо-геодезичну і картографічну діяльність», топографо-геодезичні та картографічні роботи поділяються на кілька напрямів, зокрема:

- основні геодезичні роботи;
- загальнодержавні топографічні знімання;
- інженерні вишукування для будівництва.

Згідно з ДБН А.2.1-1-2014, інженерні вишукування, які зазначені у пункті 4.4 включають такі види:

- інженерно-геодезичні;
- інженерно-геологічні;
- геотехнічні;
- інженерно-гідрологічні;
- інженерно-гідрометеорологічні;
- вишукування для раціонального використання природного середовища;
- спеціалізовані дослідження.

Обміри споруд можна віднести до інженерно-геодезичних вишукувань, які згідно з ДБН А.2.1-1-2014 пункту 5.3.17.2, включають:

- збір архівних матеріалів;
- створення опорної геодезичної мережі;
- інженерно-топографічні знімання у масштабі 1:1000 – 1:200;
- складання цифрових моделей місцевості (ЦММ);
- геодезичне забезпечення інженерно-геологічних досліджень;
- інженерно-гідрографічні роботи.

Окремо зазначено вимоги для об'єктів класу наслідків СС3 та IV-V категорії складності, які описані у пункті 5.3.17.3 (ДБН А.2.1-1-2014) для розробки проектів будівництва. Для таких об'єктів необхідні:

- визначення координат кутів капітальних будівель (споруд), елементів залізничних колій, колодязів (камер), опор інженерних комунікацій;
- детальне обстеження та детальна зйомка інженерних комунікацій (споруд), опор та колодязів;
- створення інженерно-топографічних планів у масштабі 1:200 (на визначених проектувальником ділянках);
- зйомка фасадів будівель;
- зовнішні обміри будівель та технологічних споруд;
- геодезичні спостереження за осіданням та деформаціями будівель та споруд;

- геодезичне забезпечення інженерно-геологічних та інженерно-гідрогеологічних спостережень та досліджень.

Щодо допустимих похибок у вимірах, ДБН А.2.1-1-2014, а саме пункт 5.3.17.4 регламентує, що розбіжності довжин стін при вимірюванні та прораховані за координатами, не повинні перевищувати 10 см при довжинах стін менше 100 м та 1/1000 при довжинах стін більше ніж 100 м.

Загальні вимоги щодо точності планових опорних геодезичних мереж наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Загальні вимоги щодо точності планових опорних геодезичних мереж, які створені методами полігонометрії, триангуляції, трилатерації

Планова опорна геодезична мережа	СКП вимірювань кутів, обчислена з нев'язок, не більше секунди	Гранична похибка кутових вимірювань (з нев'язок в ходах, полігонах), с	Гранична похибка лінійних вимірювань (з нев'язок в ходах, полігонах)	Відносна СКП, не більше		
				Базисна сторона в триангуляції	Сторони мережі триангуляції в найбільш слабкому місті	Вимірювання сторін в мережі трилатерації
4 клас	3	$5\sqrt{n}$	1:25 000	1:200 000	1:70 000	1:100 000
1 розряд	5	$10\sqrt{n}$	1:10 000	1:50 000	1:20 000	1:50 000
2 розряд	10	$20\sqrt{n}$	1:5 000	1:20 000	1:10 000	1:20 000

На сьогодні майже не існує конкретного переліку законодавчих і нормативних документів, які б регламентували виконання обмірних робіт із використанням наземного лазерного сканування (НЛС). Єдиним чинним документом, що містить вимоги до точності, є ДБН А.2.1-1-2014 "Інженерні вишукування для будівництва". Відповідно до пункту 5.3.10.5, лазерне сканування використовується для зйомки фасадів, внутрішніх приміщень, автомобільних доріг та інших об'єктів. Таким чином, середня квадратична похибка під час вимірювань координат не повина перевищувати 6 мм на відстані 50 м, а крок сканування (відстань між сусідніми точками) не має перевищувати 50 мм.

Щодо фотограмметричної зйомки, той же ДБН у пункті 5.3.10.7 зазначає, що аерофототопографічні та фотограмметричні роботи необхідно виконувати відповідно до галузевих норм.

1.3. Характеристика об'єкту вимірювань

Житловий будинок садибного типу, який виступає об'єктом вимірювань, розташований за адресою: Київська область, с.Крюківщина. Схема розташування будівель і споруд зображено на рисунку 1.3.1.

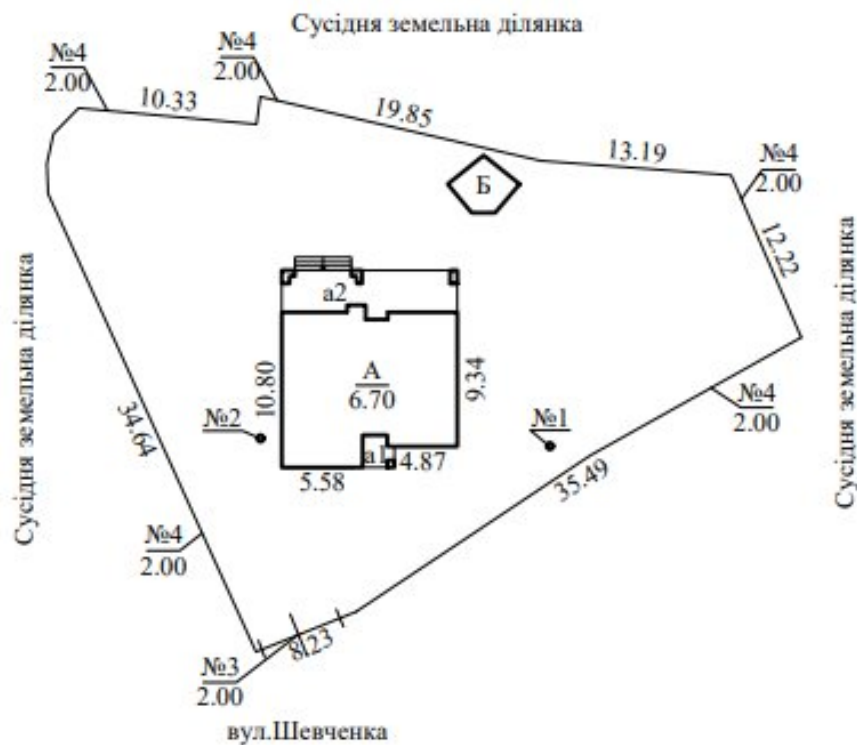


Рис.1.3.1 Об'єкт вимірювань

Це двоповерхова будівля з залізобетонним фундаментом, стінами з керамоблоку, залізобетонними перекриттями та покрівлею з металу. Підлога виконана з цементної стяжки. Висота першого поверху становить 3.40 м, другого поверху — 3.30 м. Площа забудови будинку становить 120.4 кв.м для першого поверху та 119.7 кв.м для другого поверху, а загальний об'єм будинку досягає 804 куб.м. У складі будинку є додаткові споруди, зокрема ганок, тераса, балкон та альтанка, які виконані із залізобетонних конструкцій та мають цементну стяжку.

План першого поверху у масштабі 1:100 зображений на рисунку 1.3.2.

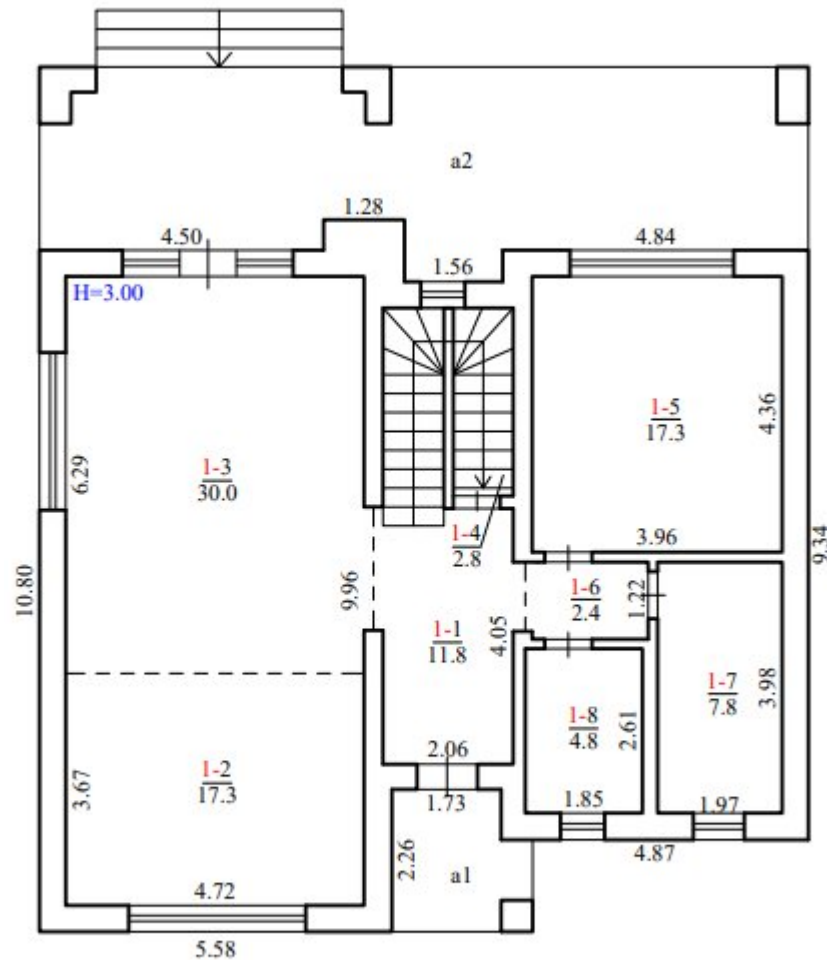


Рис.1.3.2 План першого поверху

Територія має відносно рівний рельєф, що полегшує виконання лазерного сканування і встановлення геодезичних приладів. На території знаходяться додаткові елементи, такі як свердловина, вигрібна яма, огорожі та ворота, які потребують детальної інвентаризації та врахування під час виконання робіт. Щільність забудови середня, що зумовлює необхідність точного розташування геодезичних пунктів для уникнення перекриття оглядовості об'єкта. Рослинність на території переважно відсутня, що знижує ймовірність перешкод для лазерного сканування чи фотограмметрії. Конструкції будівель представлені переважно з бетону, керамічного блоку та металу, що може впливати на точність лазерного сканування через особливості відбиття лазерного променя.

Усі ці фактори вимагають комбінованого використання геодезичних методів. Тахеометричні знімання для уточнення окремих елементів. Відсутність значного перепаду висот на території дозволяє мінімізувати використання

складних алгоритмів коригування при обробці даних, а також зменшує кількість необхідних етапів обчислення.

За умовами технічного завдання скануванню підлягають як фасади споруди, так і внутрішні приміщення. Лазерне сканування фасадів та внутрішніх приміщень значно впливає на геодезичні роботи, підвищуючи точність вимірювань і скорочуючи час їх виконання. На підготовчому етапі важливо враховувати доступність зон сканування, що може вимагати додаткової організації умов для роботи. Оптимальне розміщення сканера є особливо важливим у закритих приміщеннях, щоб уникнути тіньових зон та забезпечити повне покриття.

Для сканування фасадів застосовуються наземні лазерні сканери з великим радіусом дії, що дозволяє отримати точну 3D-модель зовнішніх конструкцій. Внутрішнє сканування потребує приладів з високою точністю на малих відстанях, а також портативних або ручних сканерів для роботи у вузьких просторах. Поєднання отриманих даних в єдину модель вимагає геодезичної прив'язки до спільної системи координат. Сканування фасадів дозволяє виявляти деформації стін і зміщення конструкцій, а внутрішнє сканування – контролювати точність розташування комунікацій, стельових та підлогових конструкцій. Порівняння 3D-моделі з проектною документацією допомагає виявити відхилення та неточності. Отримані дані значно спрощують подальші геодезичні роботи, оскільки дозволяють дистанційно аналізувати об'єкт, швидко отримувати креслення фасадів, розрізи та плани поверхів. Таким чином, лазерне сканування забезпечує високу точність геодезичних вимірювань, спрощує збір даних і контроль геометричних параметрів будівлі, що робить процеси будівництва, обстеження та реконструкції значно ефективнішими.

1.4. Характеристика 3D моделей споруд

3D-моделі споруд є тривимірним зображенням об'єкта сканування, створеним на основі «хмари точок» у вигляді сукупності геометричних фігур, які точно відтворюють реальні конструкції. Основна мета створення таких моделей полягає у відтворенні архітектурних чи інженерних об'єктів із високою точністю для подальшого використання у проектуванні, аналізі або будівництві. Точність побудови 3D-моделі напряму залежить від рівня деталізації (LOD – Level of Detail), який визначає складність і деталізацію цифрового представлення споруди. Виділяють п'ять основних рівнів:

- LOG (Level of Geometry) – геометрична складова моделі;
- LOI (Level of Information) – інформаційна складова моделі.


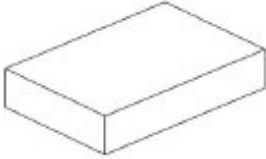
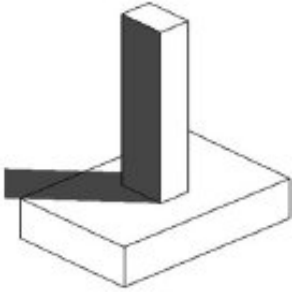
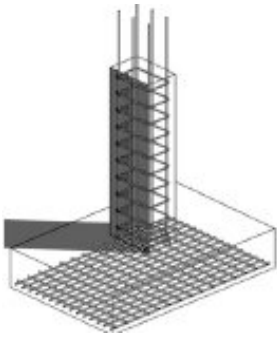
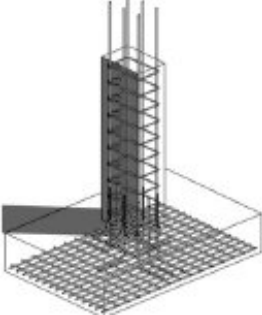
Точність побудови 3D-моделі залежить від багатьох факторів:

- точність сканування
- матеріал конструкції яку моделюють
- детальність моделі

Однак варто зазначити, що будь-яка 3D-модель не може бути точнішою, ніж отримана "хмара точок". Зазвичай її точність у два рази нижча за дані сканування. При цьому матеріал споруди суттєво впливає на точність геометричної реконструкції. Наприклад, цегляна кладка може мати нерівності в межах 2–10 см, що ускладнює визначення її точної геометрії. У таких випадках рекомендується брати до уваги максимальні розміри стіни.

Чим вищий рівень деталізації LOD, тим більша точність необхідна при побудові моделі. Наприклад, для моделей LOD 500 потрібні значно точніші вимірювання, ніж для LOD 100. Це пояснюється тим, що більш детальні моделі вимагають ретельнішої обробки даних і меншої похибки при вимірах. Приклади застосування LOD наведено у таблиці 3.

Таблиця 3

LOD	Опис	Основне застосування	Приклади моделей та елементів моделі
LOD 100	Елемент моделі може бути представлений у вигляді об'ємних формують елементів з приблизними розмірами, формою, просторовим положенням і орієнтацією або у вигляді 2D-символу	На стадії передпроектної підготовки будівництва для розробки обґрунтувань інвестицій	
LOD 200	Елемент моделі представлений у вигляді об'єкта або збірки з попередніми розмірами, формою, просторовим положенням, орієнтацією і необхідною атрибутивною інформацією		
LOD 300	Елемент моделі представлений у вигляді об'єкта або збірки, що належить конкретній системі будівлі, з точними розмірами, формою, просторовим положенням, орієнтацією, зв'язками і необхідної атрибутивною інформацією	На стадії проектної підготовки будівництва для підготовки проектної і робочої документації; для пошуку міждисциплінарних колізій	
LOD 400	Елемент моделі представлений у вигляді конкретної збірки з точними розмірами, включаючи розміри елементів вузлових зєднань, формою, просторовим положенням, орієнтацією, вузловими зв'язками (болти, заклепки, зварні шви, фасонні елементи, випуски арматури, закладні деталі тощо), даними по виготовленню та монтажу, а також іншою необхідною атрибутивною інформацією.	На стадії проектної підготовки будівництва для розробки робочої документації; на стадії будівництва для розробки проекту виконання робіт	
LOD 500	Елемент моделі представлений у вигляді конкретної збірки з фактичними розмірами, формою, просторовим положенням, орієнтацією і атрибутивною інформацією, достатньою для передачі моделі в експлуатацію	На стадії будівництва для формування моделі «Як Побудовано»; модель «Як Побудовано», як правило, створюється шляхом внесення коригувань в інформаційну модель на основі виконавчої документації та/або результатів лазерного сканування закінчених будівництвом конструкцій) і може використовуватися на стадії експлуатації для вирішення різних завдань	

Розділ 2. ГЕОДЕЗИЧНІ РОБОТИ ПРИ ПРОВЕДЕННІ ОБМІРІВ ФАСАДІВ СПОРУД

2.1. Визначення необхідної точності виконання геодезичних вимірювань

Точність виконання геодезичних вимірів фасадів визначено в ДБН А.2.1-1-2014. В ньому зазначено, що допустима похибка у визначенні координат і висот точок не повинна перевищувати 6 мм на відстані 50 м.

Оскільки вимірювання елементів споруди з однієї станції є неможливим, її сканування здійснюватиметься з кількох станцій. Взаємне розташування станцій визначатиметься шляхом створення опорної геодезичної мережі навколо споруди.

Розрахуємо точність опорної геодезичної мережі. Відповідно до принципу мізерного впливу, середня квадратична похибка створення опорної геодезичної мережі має бути щонайменше втричі меншою за середню квадратичну похибку геодезичних робіт.

Використаємо формулу:

$$m_p = \frac{m_M}{3} \quad (2.1)$$

де m_p – середня квадратична похибка створення опорної геодезичної мережі;

m_M – середня квадратична похибка виконання вимірювань.

Згідно з п. 1.2, $m_M = 6$ мм, відповідно $m_p = 2$ мм. Таким чином, СКП положення станцій не повинно перевищувати 2 мм.

2.2. Створення планово-висотної опорної геодезичної мережі для забезпечення виконання обмірних робіт

Як було вказано у розділі 1, знімання споруди ми пропонуємо виконувати методом наземного лазерного сканування. Виконаємо розрахунок точності таких робіт. Запропонована схема вимірювань фасадів споруди представлена на рис. 2.2.1. Станції сканування позначені літерами S(1) – S(10). За цією схемою вимірювань, створення знімальної мережі відбувається одночасно з вимірюваннями наземним лазерним сканером. Станції сканування зв'язані між собою за допомогою вимірювань щонайменше трьох сфер, комплектних до наземного лазерного сканера та позначених літерами A(1) – A(10). Виконаємо розрахунок точності визначення координат станцій в такій мережі. Враховуючи, що вимірювання виконуються наземним лазерним сканером FARO Focus 3D X130, під час розрахунку точності використаємо його метрологічні характеристики, а саме: СКП вимірювань кутів $m_b = 15\text{с}$, $m_s = 2\text{мм}$.

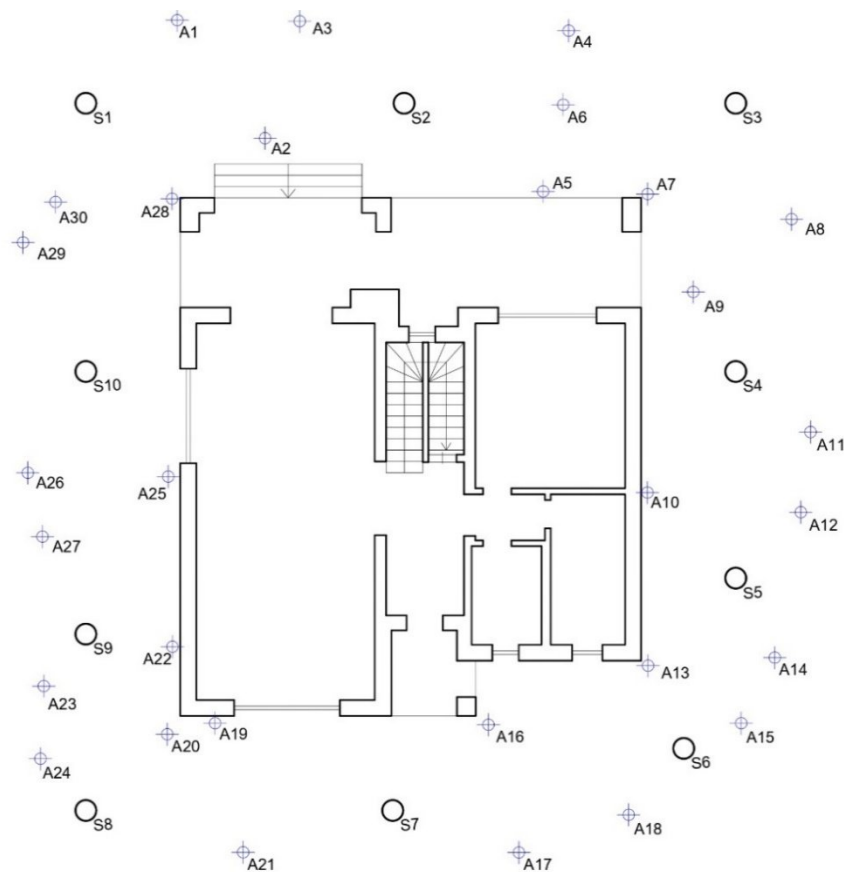


Рис.2.2.1 Схема запроектованої мережі за допомогою НЛС

Станції були розміщені так, щоб з кожної сусідньої точки спостерігалися щонайменше три опорні цілі. Передача координат здійснюється через опорні цілі, закріплені на фасаді будівлі. Розрахунок точності виконувався в ПЗ „Торосад”.

Виконаємо початкове налаштування програми для розрахунку точності. Відкриваємо програму Торосад. У вкладці «Початок» переходимо до меню «Загальні». У вікні, що з'явиться, виконуємо необхідне налаштування програмного забезпечення.

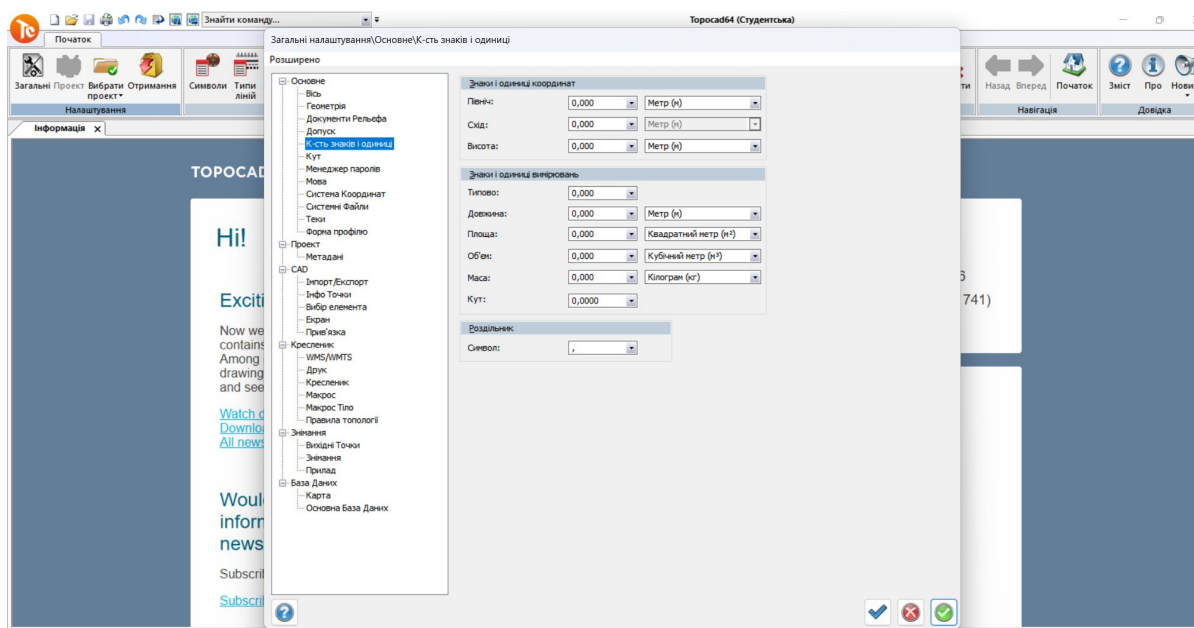


Рис. 2.2.2 Меню налаштувань ПЗ Торосад

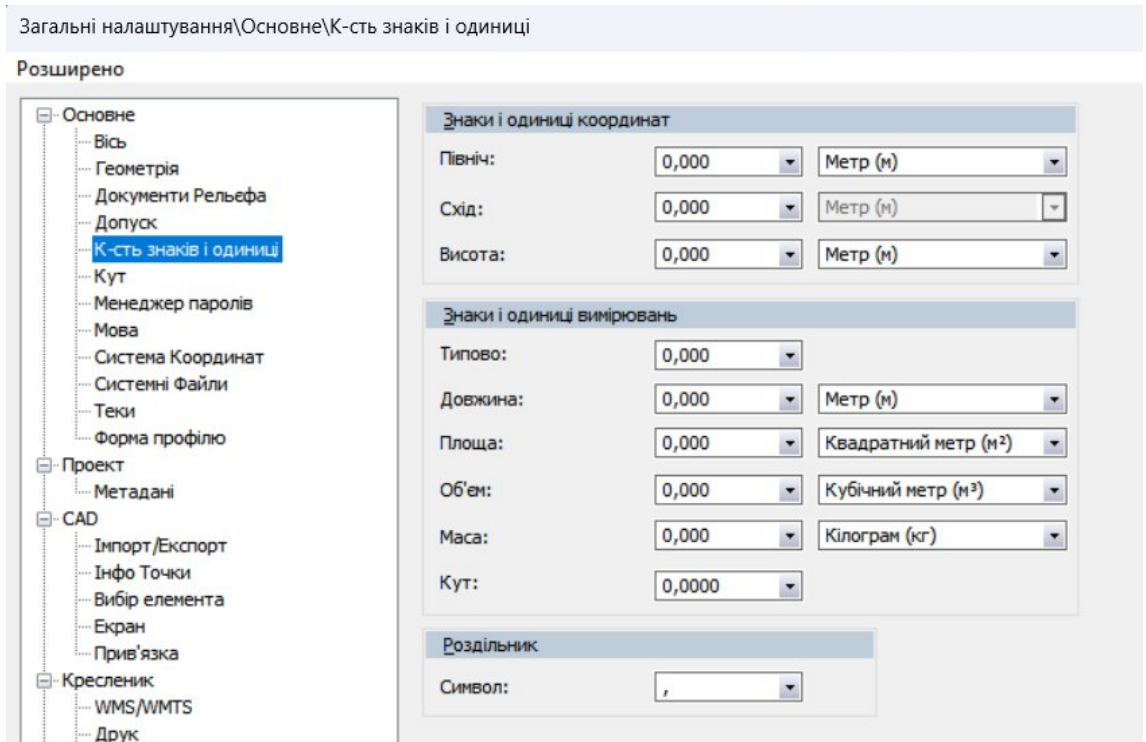


Рис. 2.2.3 Налаштування одиниць вимірювань ПЗ Торосад

Запускаємо модуль «Вирівнювання»

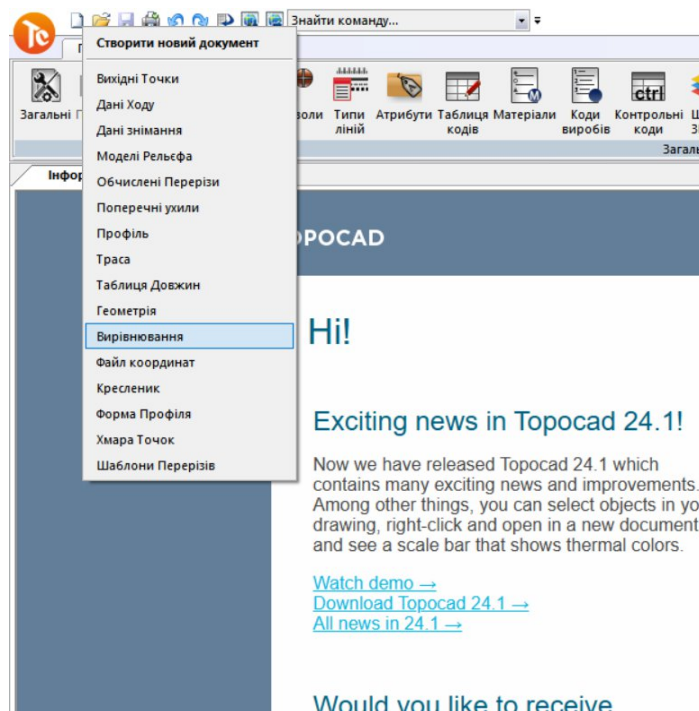


Рис. 2.2.4 Вибір модуля вирівнювання

Переходимо знизу на вкладку «Схема» та вибираємо зверху команду «Нові точки»

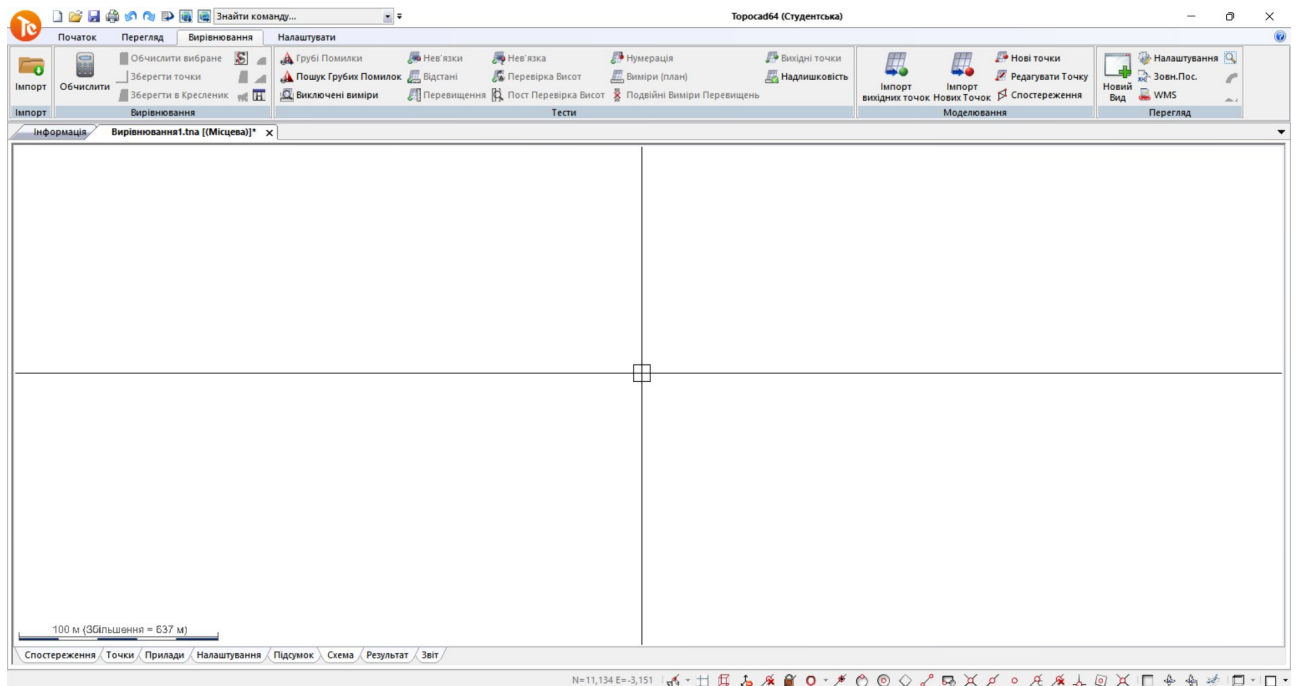


Рис. 2.2.5 Полотно проекту

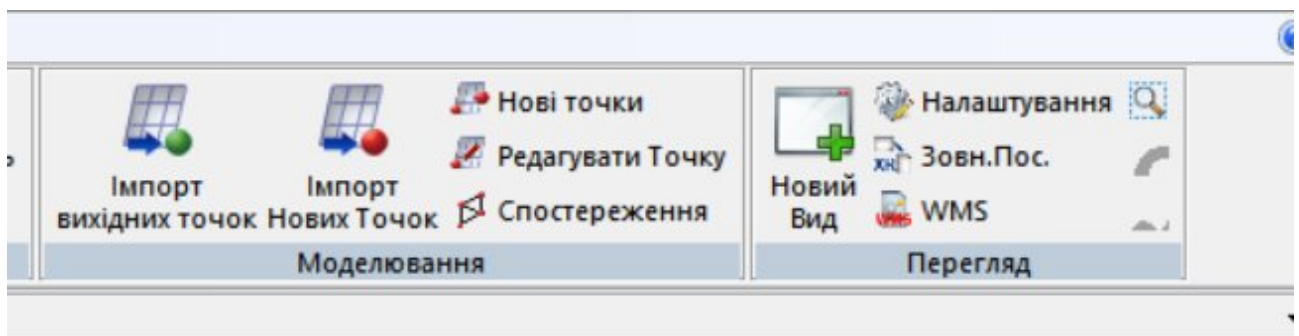


Рис. 2.2.6 Вибір режиму занесення даних

У новому діалоговому вікні заносимо наближені координати точок планової опорної геодезичної мережі.

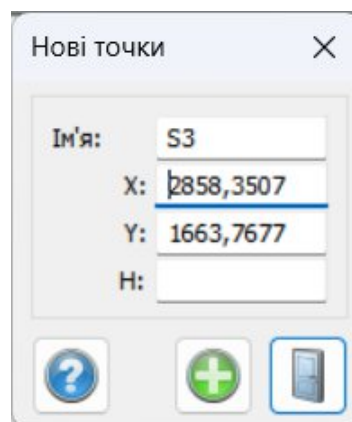


Рис. 2.2.7 Занесення наближених координат точок опорної геодезичної мережі

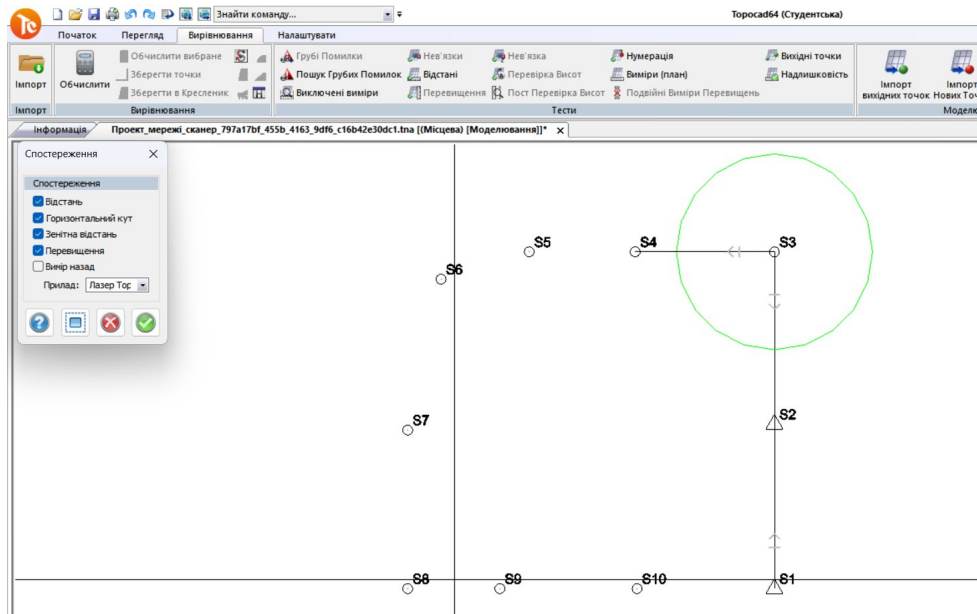


Рис. 2.2.10 Занесення вимірних елементів у ПЗ Торосад

Оскільки вимірювання виконується лазерним сканером та тільки в одну сторону – вимірювання назад потрібно вимкнути.

Проектування вимірних даних здійснюється за таким алгоритмом. Спочатку потрібно лівою кнопкою миші вибрати станцію стояння, після чого позначити пункти, на які проводились вимірювання. Після завершення вибору всіх точок наведення, інструмент необхідно закрити. Якщо у проекті використовується декілька станцій, інструмент «Спостереження» слід активувати окремо для кожної з них.

Введення параметрів точності вимірювань у програмі Торосад виконується шляхом додавання інформації про прилад, яким проводитимуться вимірювання. Для цього потрібно перейти до вкладки «Прилади», розташованої в нижній частині вікна Торосад. У списку доступних приладів необхідно обрати той, який буде використовуватись, і переконатися у правильності його технічних характеристик щодо точності.

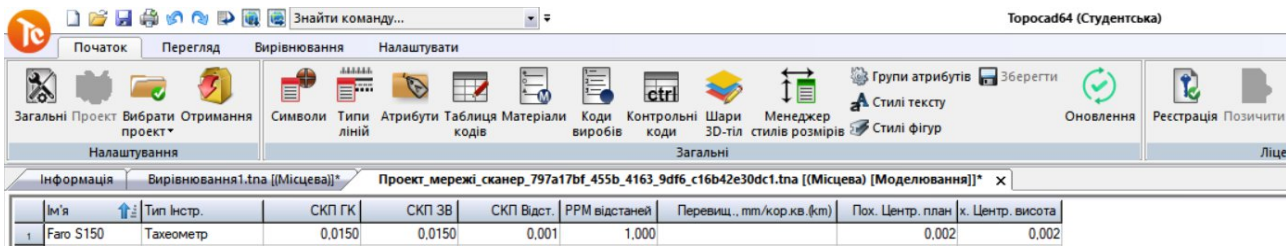


Рис 2.2.11 Перевірка характеристик точності приладу Faro S150

Для виконання розрахунку точності запроєктованої мережі натискаємо обчислити у верхній частині екрану ПЗ Торосcad.

На вкладці «Звіт» буде представлений результат розрахунку точності запроєктованої опорної геодезичної мережі. Приклад звіту наведений в таблиці 4. Окрім цього, у вкладці «Схема» відображається схема опорної геодезичної мережі, на якій додатково показані еліпси похибок для кожного з визначених пунктів, приклад показано на рис. 2.2.12

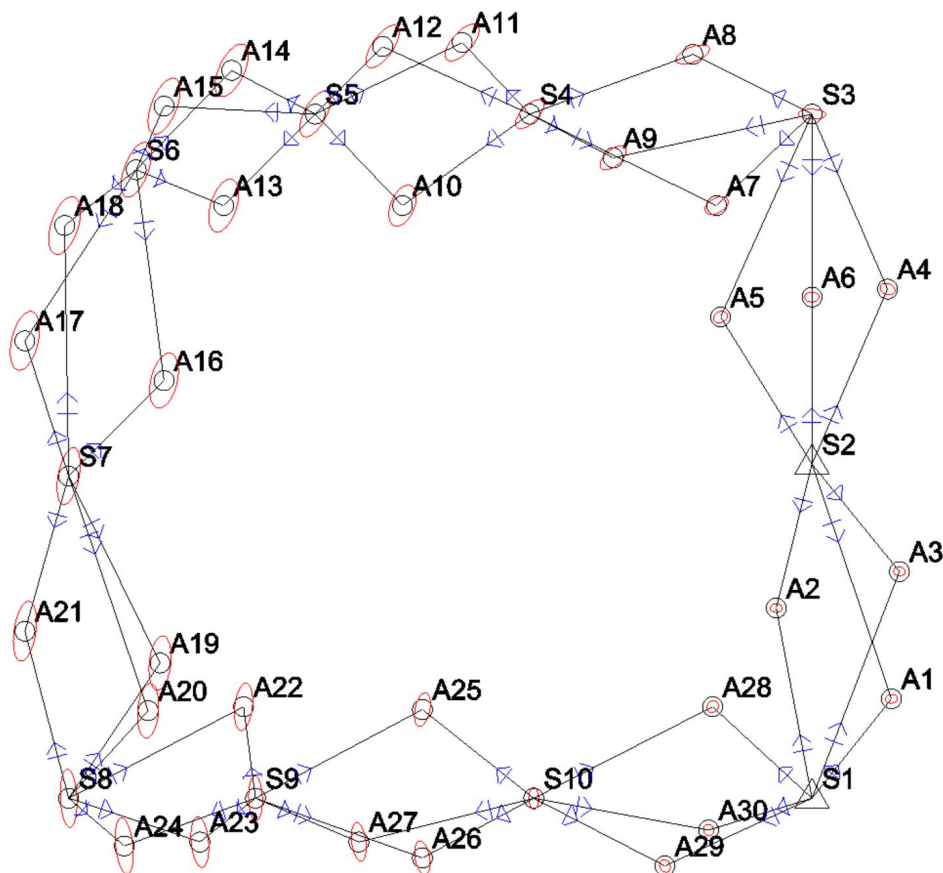


Рис.2.2.12 Схема виконання геодезичних вимірювань за допомогою НЛС

У таблиці 4 приведено результати оцінки точності положення пунктів.

Таблиця 4

Ім'я Тчк	Обчислене Х	Обчислене Y	Обчислене Н	СКП Х	СКП Y	СКП Н	Еліпс А
S3	2875.5001	1663.7000	0.0025	0.0070	0.007	0.002	92°
S4	2875.5001	1656.5999	0.0073	0.0072	0.009	0.004	44°
S5	2875.5001	1651.1999	0.0114	0.0077	0.013	0.006	28°
S6	2874.1001	1646.6999	0.0138	0.0076	0.015	0.006	21°
S7	2866.4000	1644.9998	0.0143	0.0058	0.015	0.005	11°
S8	2858.3000	1644.9999	0.0147	0.0042	0.015	0.004	177°
S9	2858.3000	1649.6999	0.0113	0.0035	0.011	0.003	178°
S10	2858.3000	1656.6999	0.0054	0.0025	0.005	0.002	179°
A1	2860.8000	1665.7000	0.0022	0.0030	0.003	0.002	86°
A2	2863.0800	1662.8000	0.0022	0.0031	0.003	0.002	90°
A3	2864.0000	1665.9000	0.0023	0.0030	0.003	0.002	93°
A4	2871.1000	1665.6000	0.0029	0.0037	0.004	0.003	113°
A5	2870.4000	1661.4000	0.0029	0.0035	0.004	0.003	64°
A6	2870.9000	1663.7000	0.0025	0.0036	0.004	0.002	91°
A7	2873.2000	1661.3000	0.0045	0.0058	0.006	0.004	62°
A8	2877.0001	1660.7000	0.0048	0.0084	0.009	0.004	68°
A9	2874.4001	1658.6999	0.0061	0.0065	0.008	0.004	49°
A10	2873.2001	1653.3999	0.0103	0.0069	0.011	0.006	23°
A11	2877.3001	1654.8999	0.0093	0.0085	0.012	0.005	41°
A12	2877.2001	1652.8999	0.0107	0.0085	0.013	0.005	35°
A13	2873.2001	1648.8999	0.0133	0.0075	0.014	0.006	18°
A14	2876.6001	1649.0999	0.0132	0.0084	0.014	0.006	25°
A15	2875.7001	1647.3999	0.0141	0.0081	0.015	0.006	22°
A16	2868.8000	1647.3999	0.0138	0.0072	0.014	0.007	14°
A17	2869.8001	1643.8998	0.0148	0.0074	0.015	0.007	14°
A18	2872.7001	1644.8998	0.0145	0.0080	0.015	0.007	18°
A19	2861.7000	1647.2999	0.0137	0.0056	0.014	0.005	6°
A20	2860.5000	1646.9999	0.0138	0.0053	0.014	0.005	5°
A21	2862.5000	1643.8998	0.0150	0.0058	0.015	0.005	8°
A22	2860.6000	1649.3999	0.0120	0.0046	0.012	0.004	6°
A23	2857.2000	1648.2999	0.0128	0.0045	0.013	0.004	175°
A24	2857.1000	1646.3999	0.0141	0.0046	0.014	0.004	174°
A25	2860.5300	1653.8999	0.0085	0.0040	0.009	0.004	12°
A26	2856.8000	1653.8999	0.0086	0.0038	0.009	0.004	170°
A27	2857.2000	1652.2999	0.0097	0.0037	0.010	0.004	173°
A28	2860.6000	1661.2000	0.0029	0.0029	0.003	0.003	41°
A29	2856.6000	1660.0000	0.0032	0.0027	0.003	0.003	155°
A30	2857.5000	1661.1000	0.0029	0.0025	0.003	0.003	170°

Згідно з розрахунками мережі навколо споруди, точність визначення координат точок об'єкта виявилася нижчою за допустиме значення і становить

приблизно 16 мм. Отже, для досягнення необхідної точності вимірювань слід створити опорну геодезичну мережу за допомогою приладу з вищою точністю.

Було прийнято рішення створити планово-висотної опорної геодезичної мережі для проведення обмірних робіт передбачає такі етапи, які зображені на рис.2.2.13:

1. Формування опорної геодезичної мережі із застосуванням тахеометра.
2. Визначення координат опорних марок шляхом їх координування з пунктів опорної мережі за допомогою тахеометра.
3. Обчислення координат станцій НЛС, використовуючи опорні точки, які закріплені на споруді.

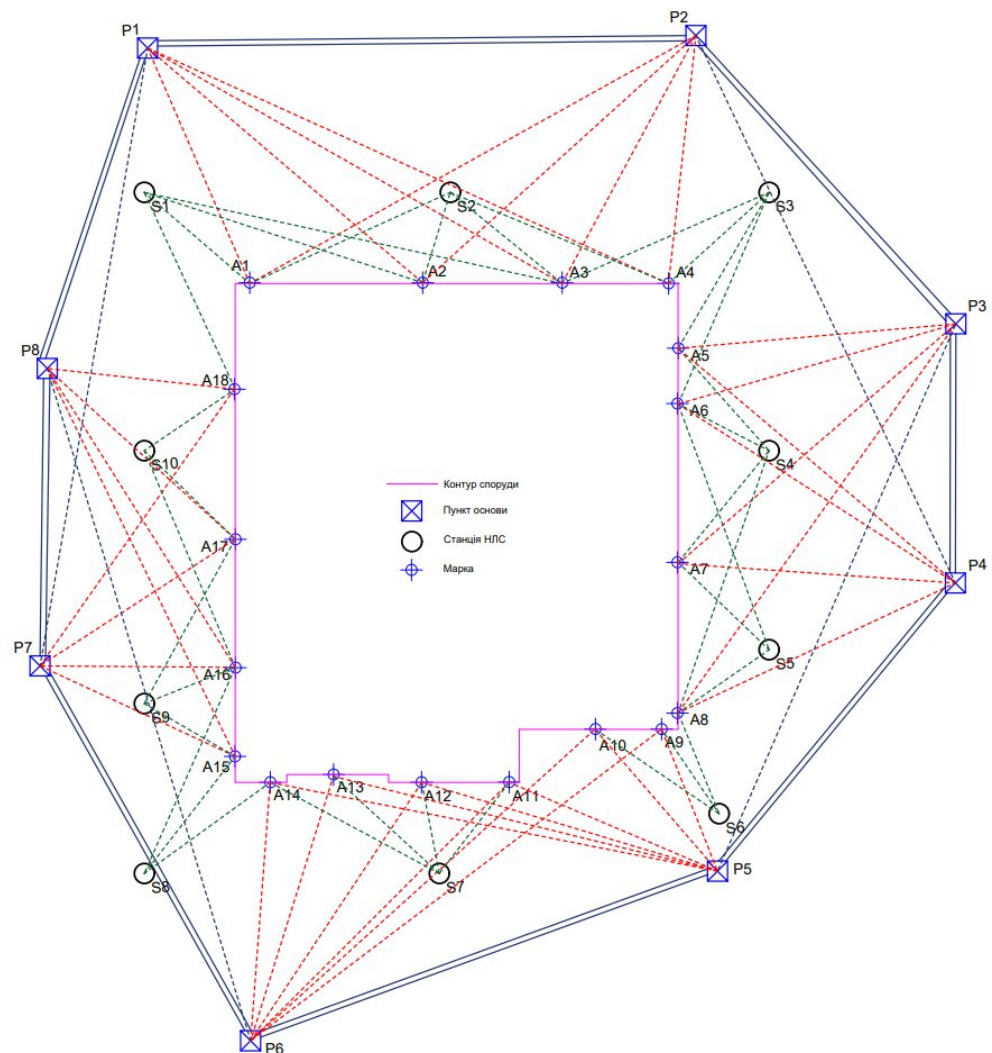


Рис.2.2.13 Загальна схема виконання геодезичних вимірювань

Створюємо опорної геодезичної мережі за допомогою тахеометра. Як вже згадувалося вище, визначення положень станцій має здійснюватися з похибкою не більше 2 мм. Тому була спроектована опорна геодезична мережа у формі восьмикутника, а її побудову виконувалась тахеометром з точністю вимірювання відстаней $1 \text{ мм} + 1 \text{ ppm}$ і кутовою точністю $2''$.

Знизу, на рис 2.2.14, показано схему розташування пунктів основи та контур споруди.

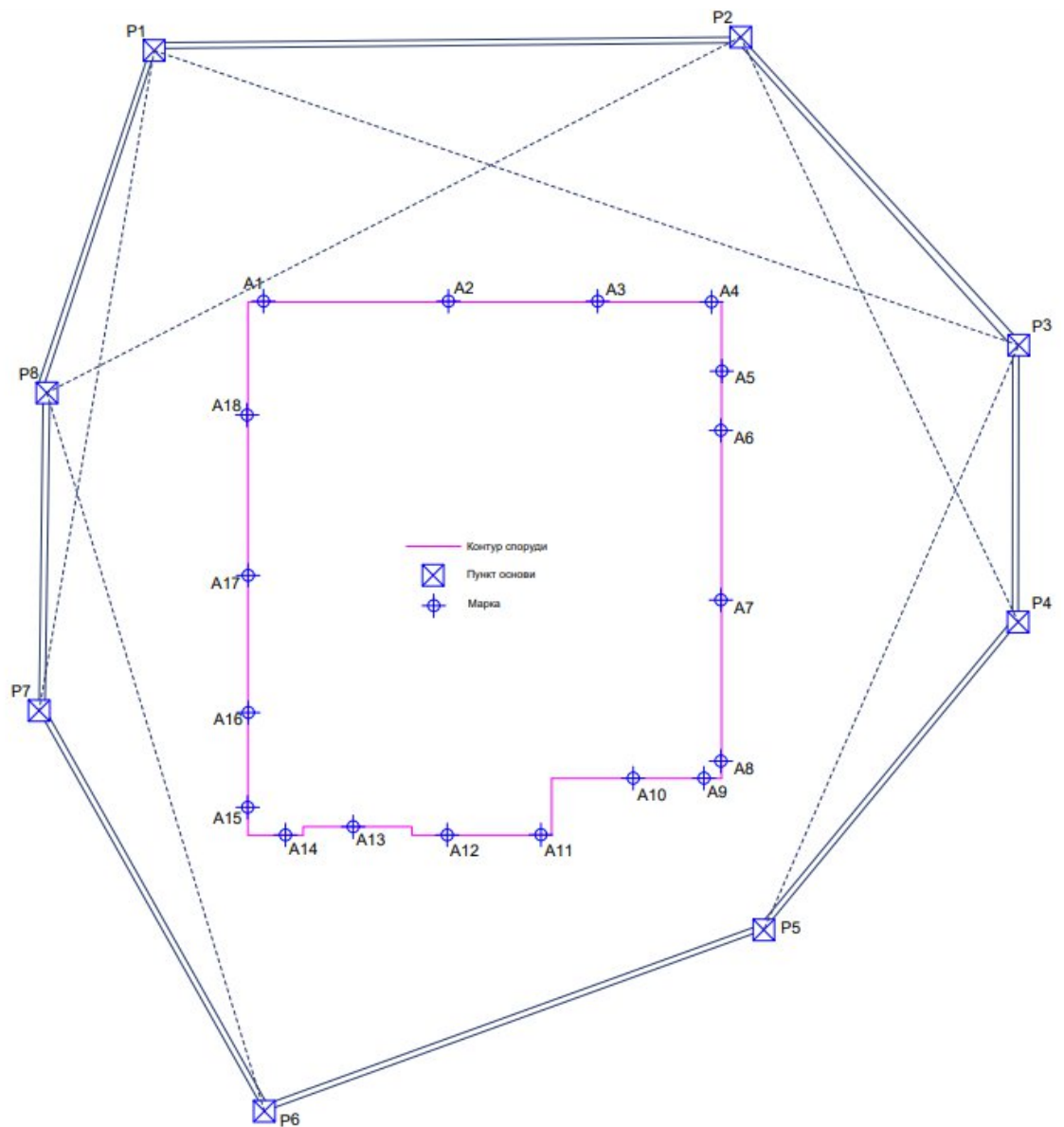


Рис.2.2.14 Схема розташування пунктів основи

Мережа складається з восьми пунктів основи. Станції розташовано так, щоб при координуванні опорних цілей, центри не знаходилися під великими кутами

відносно приладу. Найдовша сторона мережі становить 14,53 м, а найкоротша – 6,57 м.

За результатами розрахунку точності цієї запроєктованої мережі в ПЗ Торосад встановлено, що СКП її точності становило менше 2 мм, яка повністю задовольняє вимогам. Результати розрахунку точності наведено у Таблиці 5.

Таблиця 5

Ім'я Тчк	Обчислене X	Обчислене Y	Обчислене H	СКП X	СКП Y	СКП H	Еліпс А
P3	2893.3001	1618.3000	0.0014	0.0008	0.001	0.001	109°
P4	2893.3001	1611.1999	0.0020	0.001	0.001	0.002	56°
P5	2886.7000	1603.3999	0.0028	0.0009	0.0015	0.002	18°
P6	2873.9000	1598.5999	0.0034	0.001	0.0015	0.002	165°
P7	2868.1000	1608.8999	0.0021	0.0009	0.001	0.002	134°
P8	2868.3000	1617.0000	0.0012	0.0008	0.001	0.001	88°
A1	2873.9000	1619.5000	0.0013	0.0007	0.0015	0.001	113°
A2	2878.6000	1619.5000	0.0014	0.0006	0.001	0.001	176°
A3	2882.5000	1619.5000	0.0013	0.0007	0.001	0.001	59°
A4	2885.4000	1619.4000	0.0013	0.0007	0.001	0.001	94°
A5	2885.6000	1617.6000	0.0022	0.0009	0.001	0.002	154°
A6	2885.6000	1616.0999	0.0022	0.0009	0.001	0.002	158°
A7	2885.6000	1611.6999	0.0024	0.0009	0.002	0.002	173°
A8	2885.6000	1607.5999	0.0027	0.001	0.0015	0.002	0°
A9	2885.2000	1607.1999	0.0027	0.0009	0.0015	0.002	23°
A10	2883.4000	1607.1999	0.0028	0.0009	0.0015	0.002	11°
A11	2881.0000	1605.6999	0.0029	0.0008	0.0015	0.002	4°
A12	2878.6000	1605.6999	0.0029	0.0009	0.0015	0.002	177°
A13	2876.2000	1605.8999	0.0029	0.0008	0.0015	0.002	166°
A14	2874.4000	1605.6999	0.0029	0.001	0.0015	0.002	156°
A15	2873.4000	1606.3999	0.0027	0.0009	0.0015	0.002	173°
A16	2873.5000	1608.7999	0.0025	0.001	0.0015	0.002	179°
A17	2873.5000	1612.3999	0.0022	0.001	0.001	0.002	17°
A18	2873.4000	1616.4999	0.0021	0.001	0.001	0.002	36°

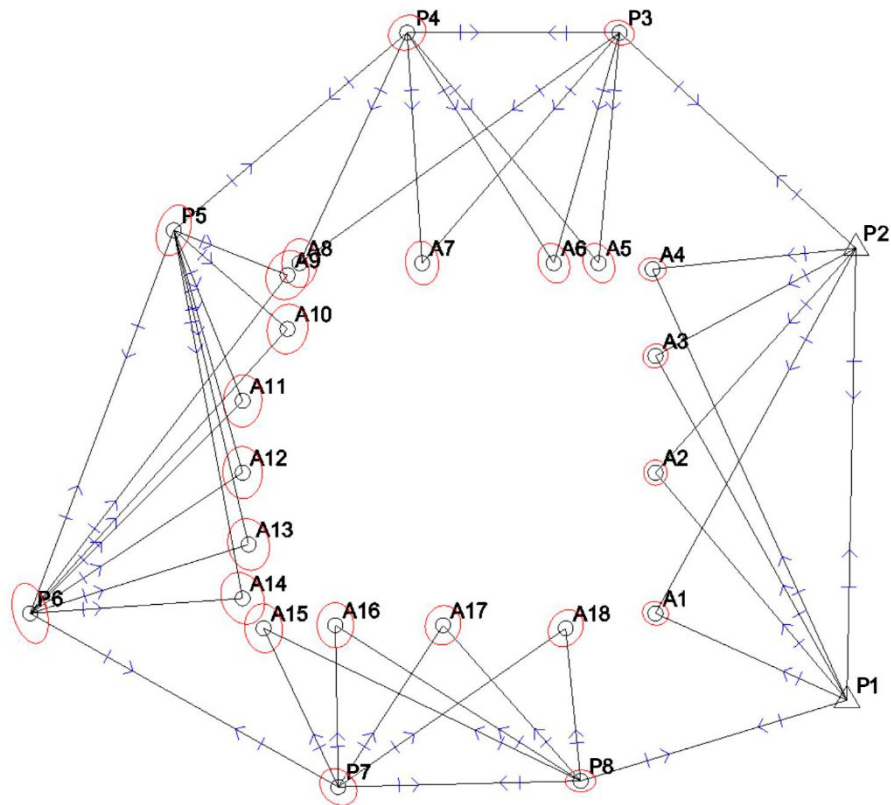


Рис.2.2.15 Схема виконання геодезичних вимірювань опорної мережі за допомогою тахеометра

Наступним етапом буде координування опорних цілей з пунктів опорної геодезичної мережі. Для орієнтування сканера на станціях, тобто для переходу до системи координат опорної геодезичної мережі, вирішено встановити марки на стінах споруди вздовж усього периметру. Марки розташовано рівномірно й у такій кількості, що з будь-якого положення сканера видно по три марки як попередньої, так і наступної станції. Це забезпечує надлишковість вимірювань, що підвищує надійність та точність визначення параметрів орієнтування приладу. На рис. 2.2.16 представлено схему розташування марок.

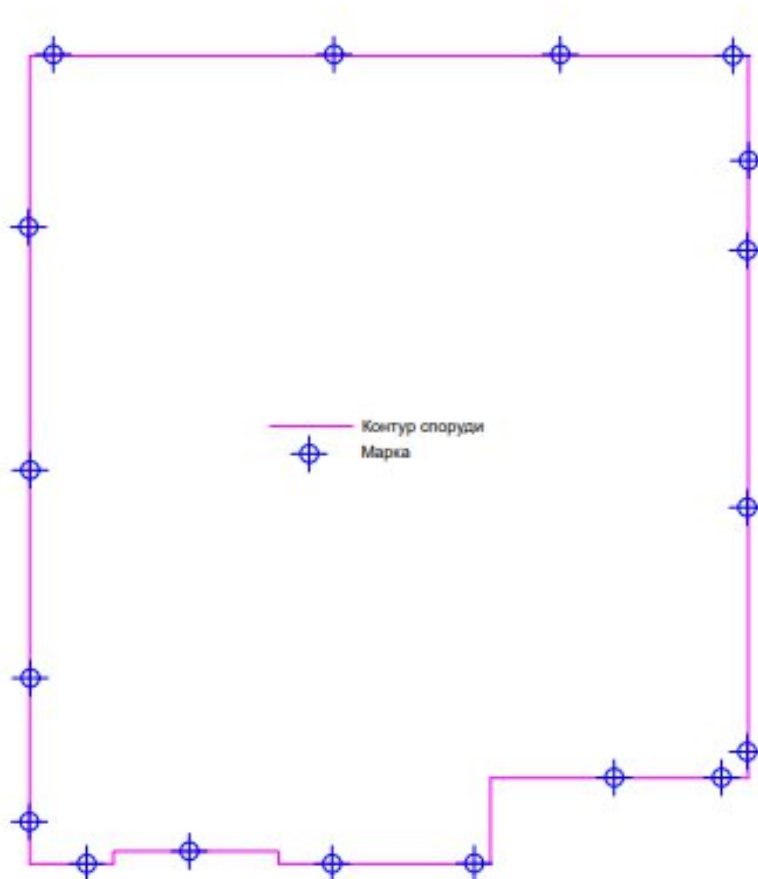


Рис.2.2.16 Схема розташування марок

Для зв'язування пунктів опорної мережі між собою використовувались два типи марок: плівкові відбивачі (катафоти), які застосовувались з електронним тахеометром, та шахові мішені (комплектні до лазерного сканера). Незважаючи на можливість їхнього розміщення поряд або навіть одна під одною на фасаді споруди, ці марки мають різне призначення і не є взаємозамінними.

Для тахеометричних вимірювань було закріплено 18 плівкових відбивачів на надійних і нерухомих конструктивних елементах будівлі. Їх розташовували так, щоб забезпечити чітку видимість між станціями та стабільну геометричну прив'язку. Продумане розміщення дозволило досягти безперервної ув'язки опорних пунктів у єдину координатну систему.

У той час марки, призначені для лазерного сканера фіксуються на об'єкті для подальшої автоматичної ідентифікації на сканах. Важливо враховувати, що лазерний сканер не «бачить» плівкові відбивачі — вони засвічуються на сканах

і не розпізнаються як мішені, тому знизу під катафотами, було розміщено марки для лазерного сканера.

Таким чином, правильне розмежування і застосування різних типів марок дозволяє забезпечити точність прив'язки як у тахеометричних вимірюваннях, так і під час обробки лазерного сканування.

Передача координат на марки з пунктів опорної геодезичної мережі виконувалася полярним методом рис. 2.2.17. Для цього застосовано тахеометр з точністю вимірювання відстаней $1\text{ мм} + 1\text{ ppm}$ та кутовою точністю $2''$.

Точність координування марки за допомогою полярного методу розраховується за наступною формулою:

$$m_M^2 = m_s^2 + \frac{m_\beta^2}{\rho^2} * S^2, \quad (2.2)$$

де m_s^2 – це СКП відкладання відстані, m_β^2 – СКП побудови кута, S – найдовша сторона.

$$\text{Отже, } m_M = \sqrt{1^2 + \frac{2^2}{206265^2} * 13700^2} = 1 \text{ мм};$$

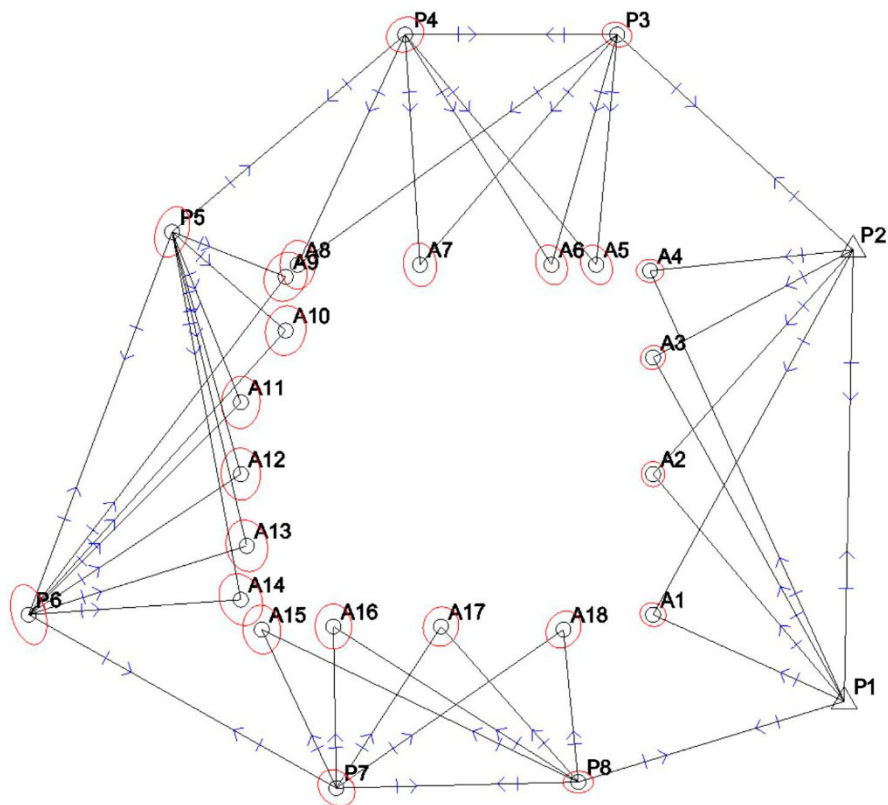


Рис.2.2.17 Визначення координат марок, що використовують при виконанні лазерного сканування будівлі

Визначення координат станцій НЛС виконують за допомогою вимірювань спеціалізованих марок, координати яких визначено за допомогою тахеометра. Отже, розрахувати точність визначення місця стояння НЛС є можливим за формулою:

$$m_{LP}^2 = m_S^2 + \frac{m_\beta^2}{\rho^2} * S^2, \quad (2.3)$$

де m_S^2 – це СКП відкладання відстані, m_β^2 – СКП побудови кута, S – найдовша сторона.

$$\text{Тоді, } m_{LP} = \sqrt{2^2 + \frac{15^2}{206265^2} * 3540^2} = 2.02 \text{ мм};$$

Заключним етапом та найважливішим є знаходження загальної похибки виконання геодезичних робіт. Вона включає похибку визначення координат пунктів основи, похибку визначення координат марок з пунктів опорної мережі

та похибки визначення координат станцій з опорних цілей. Розрахунок виконується за формулою:

$$m_3^2 = m_p^2 + m_M^2 + m_{LP}^2, \quad (2.4)$$

де m_p^2 – це похибка визначення координат пунктів основи; m_M^2 – похибку визначення координат марок; m_{LP}^2 – похибка визначення координат станцій НЛС.

Тоді, $m_3 = \sqrt{1.9^2 + 1^2 + 2.02^2} = 2.94$ мм;

Таким чином, можна зазначити, що необхідна точність вимірювань досягнута.

2.3.Методика виконання вимірювань фасадів споруди за допомогою наземного лазерного сканера

Використання наземного лазерного сканера для вимірювання фасадів будівель дозволяє отримати високоточні тривимірні дані, що є основою для створення цифрових моделей споруд. Для надійного та високоякісного зв'язування станцій лазерного сканування, а також для точного перенесення координат з геодезичної опорної мережі в хмару точок, використовують опорні цілі. Серед численних варіантів кожен має свої переваги та недоліки. У нашому випадку опорними цілями виступають марки, які закріплено по периметру фасаду будівлі. До переваг цього виду відносять:

- можливість використання великої кількості опорних знаків;
- можливість визначення координат центру вручну;
- можливість визначення координат цілі класичними методами геодезії.

Основні принципи розташування опорних цілей під час сканування:

- встановлення цілі у стійкі місця та місця тривалого зберігання;
- встановлення цілі на відстані не більше 20-25 м від сканера;
- встановлення цілі з урахуванням достатньої кількості точок вимірювань на неї (для сфери це 21 точка);
- встановлення не менше трьох цілей між сусідніми сканами;
- використання цілей із якомога більшої кількості сканів;

Лазерний сканер, на відміну від класичної геодезії, не проводить прямих вимірювань кутів до об'єкта, тому збільшення дистанції до нього не покращує

точність визначення координат. При скануванні об'єкта з певним кроком, з віддаленням кількість зчитуваних точок на поверхні зменшується, що призводить до зниження точності вимірювань відстаней. Таким чином, чим більше відстань, тим нижча точність визначення координат. Для наземного лазерного сканування оптимальне розташування об'єкта становить від 2 до 10 метрів. Якщо спеціалізовані цілі відсутні, можна використовувати зшивання результатів сканування за контурними точками або іншими ознаками, при цьому принципи їх відбору та розміщення залишаються такими ж, як і для спеціалізованих цілей.

Розташування опорних цілей між сусідніми сканами показано на рис. 2.7

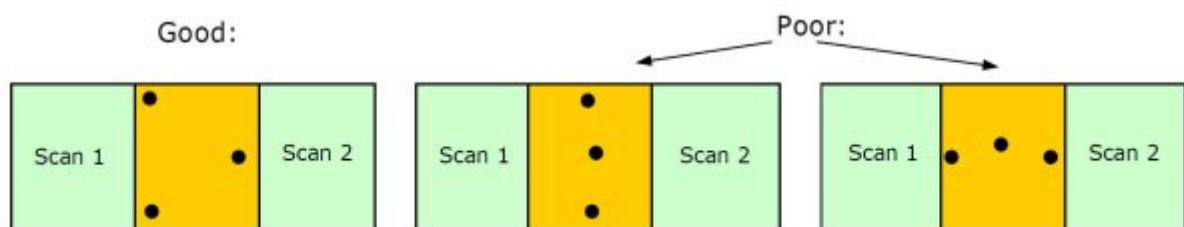


Рис.2.3.1 Схема порівняння різних варіантів розташування опорних цілей

На зображенні скани відображені зеленим, а жовтим – області їх перекриття. Перекриття забезпечує взаємне доповнення сканів. Опорні цілі слід розташовувати рівномірно по всій спільній зоні сканування, причому ідеальним є варіант, коли вони формують геометричну фігуру з максимальною площею.

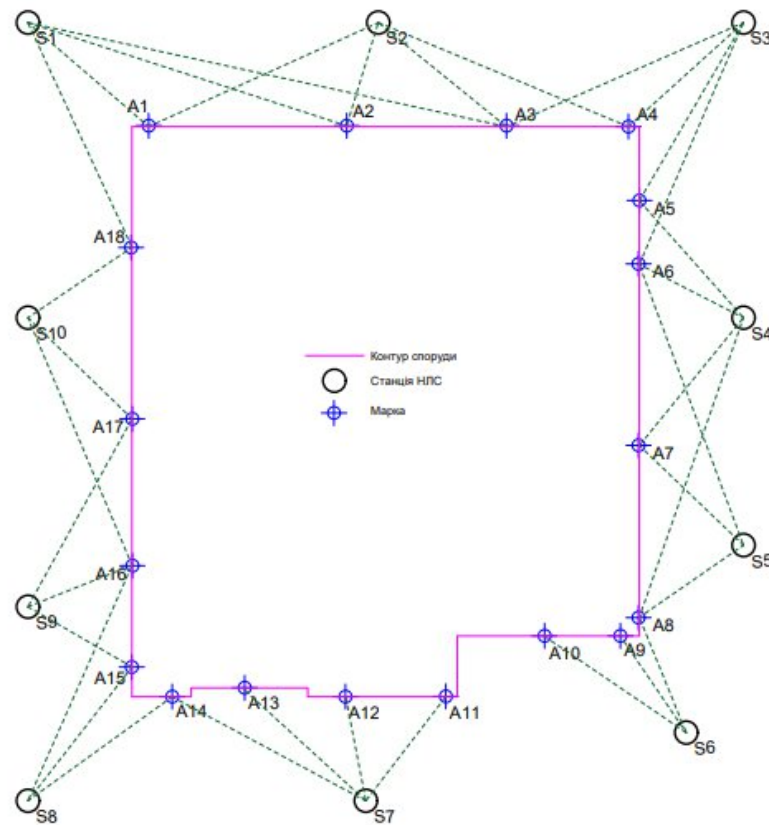


Рис.2.3.2. Схема розташування станцій НЛС та контрольних орієнтирів у вигляді марок

Сканер слід розміщувати так, щоб перекриття поверхні об'єкта між сусідніми сканами становило не менше 30 відсотків, а також щоб були змогли здійснити вимірювання недоступних зон з іншого скана. Краще виконати більше сканувань з повним дотриманням вимог до зйомки, а згодом зменшити щільність хмари точок, ніж знімати менше сканів із мінімальним дотриманням вимог. Для виконання нашого проекту знадобилося 10 станцій сканування навколо об'єкту, щоб забезпечити відповідні вимоги. Щільність налаштувань сканування виставлялась 3 мм на 10 м.

Одним із ключових параметрів при виконанні вимірювань за допомогою НЛС є кут падіння лазерного променя, який залежить від висоти об'єкта, висоти розташування сканера та відстані між ними. Чим більше цей кут відхиляється від перпендикуляра до площини знімання, тим більша ймовірність виникнення

«дірок» та «тіней» у хмарі точок. Тому цей фактор необхідно враховувати під час проведення сканування.

Під час сканування визначається щільність та точність вимірювань кожної точки. Є можливість виконати сканування у кольорі, проте в разі його відсутності формується чорно-біла модель, де градації сірого залежать від інтенсивності відбиття лазерного променя. Ці параметри безпосередньо впливають на тривалість сканування. Інтенсивність відбиття залежить від кольору об'єкта та його дзеркальних властивостей. У нашому випадку було обрано чорно-білий режим, оскільки обробка таких даних зазвичай дає кращі результати, а накладання кольорів може спричинити неточності, внаслідок чого кольорове зображення може дещо не відповідати хмарі точок.

Контроль вимірювань є однією з ключових складових процесу виконання вимірювань за допомогою НЛС. Як і у випадку з традиційними геодезичними вимірюваннями, контроль є невід'ємною та важливою складовою роботи. Він повинен здійснюватися як під час збору даних, так і під час їх обробки. У процесі вимірювань контроль полягає у польовій перевірці сканів на успішність та повноту охоплення всіх необхідних зон. Також під час сканування вибирають і альтернативними методами вимірюють кілька характерних геометричних розмірів об'єкта. Під час оброблення контроль полягає у:

- перевірці координат однієї і тієї ж точки із різних сканів;
- замиканням об'єкту між першим та останнім «сканом по колу»;
- визначенні характерних геометричних розмірів, виміряних «альтернативними методами» по сканах та по моделі (за наявності);
- контролю горизонтальності та вертикальності поверхонь

Оцінка точності є обов'язковим кроком, що підтверджує успішність виконання завдання. Програмне забезпечення для зшивання сканів завжди формує звіт, який потрібно правильно проаналізувати. Насамперед слід визначити СКП положення точок у отриманій хмарі даних.

2.4 Методика виконання обмірів внутрішніх приміщень споруди

На початку потрібно провести підготовчі роботи, які полягають в ознайомленні з об'єктом обмірів. Необхідно переглянути наявні плани, креслення та іншу технічну документацію, визначити площі та особливості приміщень, а також вибрати оптимальні точки для розміщення обладнання. Вибір обладнання передбачає використання сучасного лазерного сканера (наприклад, Faro Focus, Leica RTC360 або Trimble X7), штатива, лазерного далекоміра для контрольних вимірів, фотокамери чи смартфона для додаткової фотофіксації та марок-мішеней для точного зшивання сканів.

Перед початком безпосередніх обмірів необхідно забезпечити повний доступ до всіх приміщень, прибрати будь-які перешкоди, що можуть завадити точності сканування, і розмістити марки-мішені таким чином, щоб вони були добре видимими з усіх точок. Після цього встановивши лазерний сканер на штатив та вирівнявши його за горизонталлю, виконується сканування приміщень із заздалегідь визначених точок з роздільною здатністю, яка забезпечує необхідну деталізацію (зазвичай 5–7 мм на 10 метрів для загальних робіт, а для особливо важливих і деталізованих об'єктів — 2–4 мм на 10 м). Важливо забезпечити достатнє перекриття зон охоплення між сусідніми позиціями сканера (не менше ніж 30%), щоб уникнути «сліпих зон». Паралельно виконуються контрольні виміри за допомогою лазерного далекоміра, які згодом дозволять оцінити точність отриманих даних.

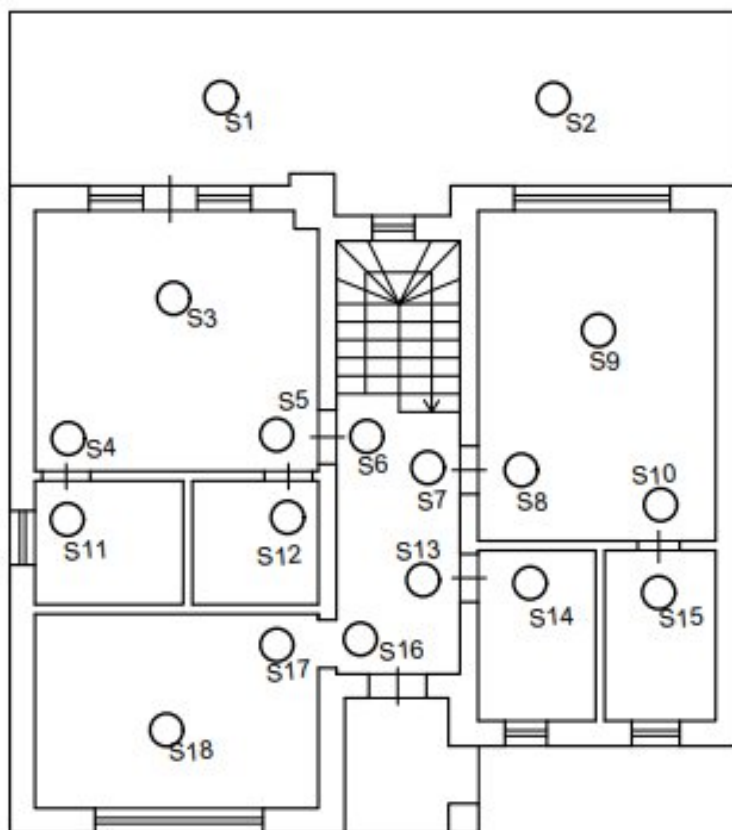


Рис.2.4.1. Сканування внутрішньої частини споруди

Після завершення польових робіт приступаємо до камерального етапу обробки отриманих даних. Результати сканування переносяться на комп'ютер та обробляються за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення, такого як Faro Scene, Leica Cyclone Register 360 чи Trimble RealWorks. На цьому етапі відбувається реєстрація та зшивання окремих сканів у єдину тривимірну модель споруди. В процесі обробки виконують очищення хмари точок від шуму (випадкові рухомі об'єкти, зайві точки, артефакти). Потім на основі отриманої очищеної хмари точок формується кінцева тривимірна модель, яка може бути представлена у форматі mesh-моделі або переведена у BIM-модель (наприклад, у Autodesk Revit чи ArchiCAD).

На завершальному етапі проводиться контроль точності отриманих результатів, порівнюючи дані моделі з контрольними вимірами. Це дозволяє визначити точність виконаних обмірів і зазначити похибку. Також оформляються плани, розрізи, фасади і візуалізації на основі створеної 3D-моделі. В текстовій частині роботи детально описуються всі етапи виконаних

обмірів, використане обладнання, програмне забезпечення, результати аналізу точності, а також наводяться висновки про ефективність та точність запропонованої методики лазерного сканування.

2.5.Оброблення результатів вимірювань, створення «хмари точок» об'єкту вимірювань

Для виконання завдання було використано ПЗ SCENE. Під час оброблення вимірювань лазерного сканування виконуються наступні дії:

1. Передоброблення.
2. Реєстрація сканів.
3. Редукування вимірювань.
4. Формування хмари точок.

Перед обробленням потрібно створити проект, як показано на рис.2.4.1.

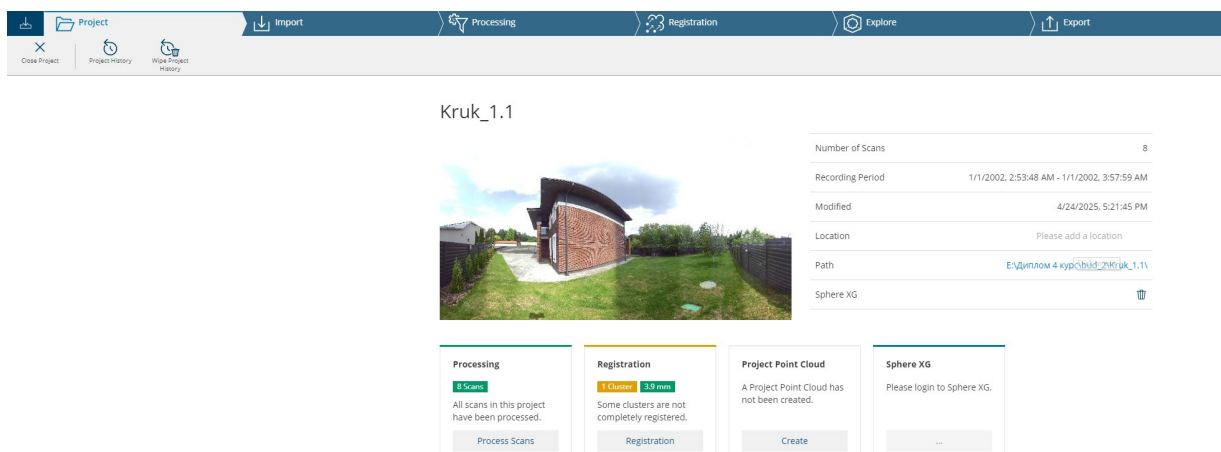


Рис.2.5.1 Створення проекту в пз SCENE

Далі потрібно імпортувати скани до програми (рис.2.4.2).

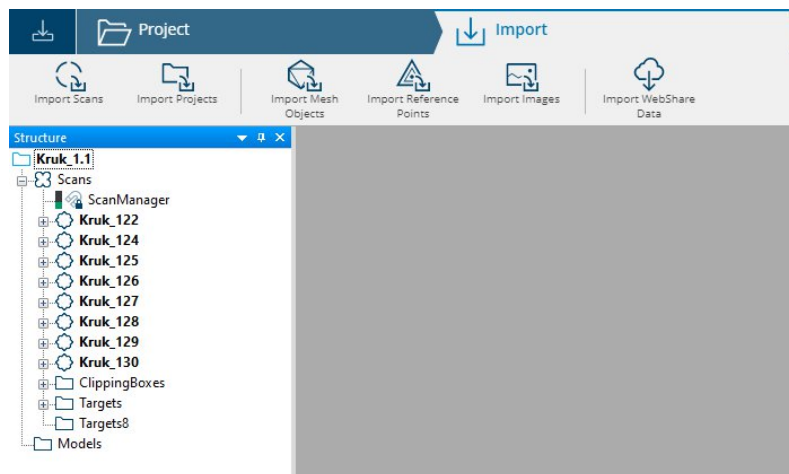


Рис.2.5.2 Додані скани в створений проект

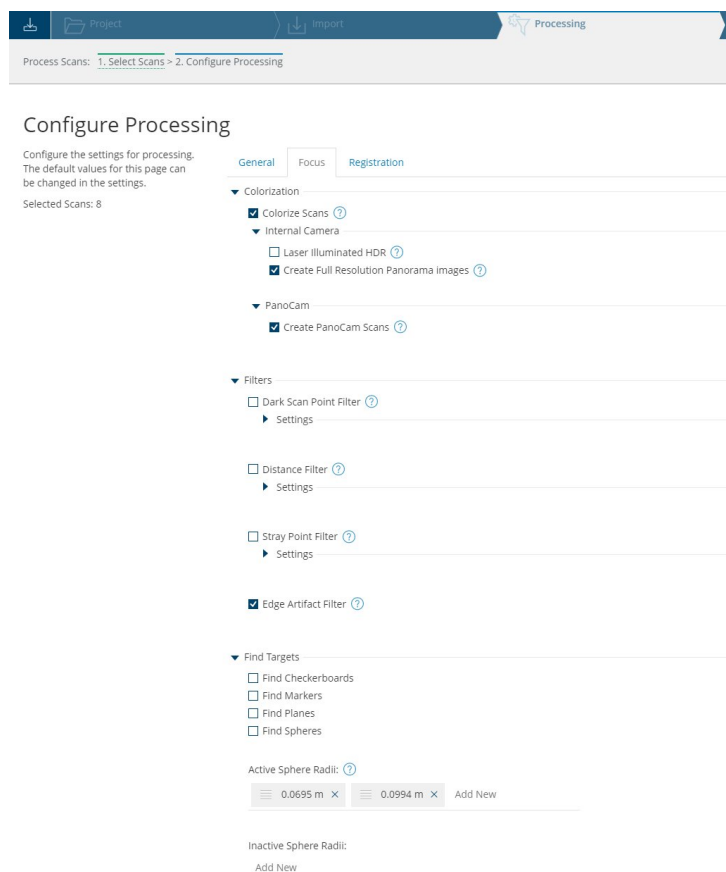


Рис.2.5.3 Встановлення параметрів передоброблення

Під час попередньої обробки вимірювань формується «хмара точок» на основі даних одного сканування. Для кожної точки обчислюються координати, використовуючи зафіксовані горизонтальні та вертикальні кути разом із вимірною відстанню. Колір точки визначається за інтенсивністю сигналу або шляхом накладення відповідних фотознімків. У разі активованих відповідних параметрів під час сканування, до координат додаються поправки, які враховують нахил сканера, орієнтацію та координати точки стояння.

Наступним етапом обробки є реєстрація сканів, яка передбачає просторове об'єднання окремих сканів в єдину систему координат. На цьому етапі здійснюється пошук та прив'язування спільних точок, опорних міток, характерних поверхонь тощо. У результаті цього процесу відбувається зшивання кількох «хмар точок» в одну, узгоджену модель.

Існують різноманітні методи зшивання сканів у єдину «хмару точок»:

1. Автоматичне зшивання — виконується без участі користувача, шляхом накладання точок між різними сканами. Працює ефективно у випадках, коли об'єкти мають чіткі геометричні риси та достатню кількість опорних цілей. Однак для складних структур може виникнути похибка в суміщенні.
2. Візуальне суміщення — передбачає ручну реєстрацію за допомогою інтерфейсу програми, де оператор самостійно обирає відповідні точки чи елементи на сканах.
3. Метод «розділеного екрану»:
 - за характерними точками;
 - за спеціалізованими мітками, як-от сфери або опорні мітки.

Для невеликих або простих об'єктів автоматичне зшивання, як правило, є достатньо ефективним, особливо якщо на об'єкті розташовані відповідні мітки. Втім, при роботі зі складними архітектурними структурами або при переході між приміщеннями можуть виникати труднощі.

Особливої уваги заслуговує метод зшивання за спільними площинами. Його ефективна реалізація доступна в програмному забезпеченні Cyclone та Trimble RealWorks (TRW). Тут можна точно накладати скани не лише в горизонтальній площині (в плані), а й по висоті. На відміну від цього, у Scene зшивання можливе лише у плані, а в ReCap така функція взагалі відсутня.

Недоліками цього методу є:

1. Обмежена точність накладання площин, зважаючи на використання приведених до масштабу креслень;
2. Ускладнення при зшиванні сканів із різних приміщень, де немає чітких спільних площин.

Попри це, метод накладання площин часто використовується як попередній етап для подальшого автоматичного зшивання.

Додатково, деякі програмні засоби, такі як ReCap та Scene, підтримують використання фотозображень, прив'язаних до сканів. Завдяки цьому користувач може легко орієнтуватись у просторі, масштабувати зображення та точно ідентифікувати опорні цілі для покращення точності реєстрації.

Перед початком ручного зшивання потрібно обрати пару сусідніх сканів, як на рис.2.5.4.

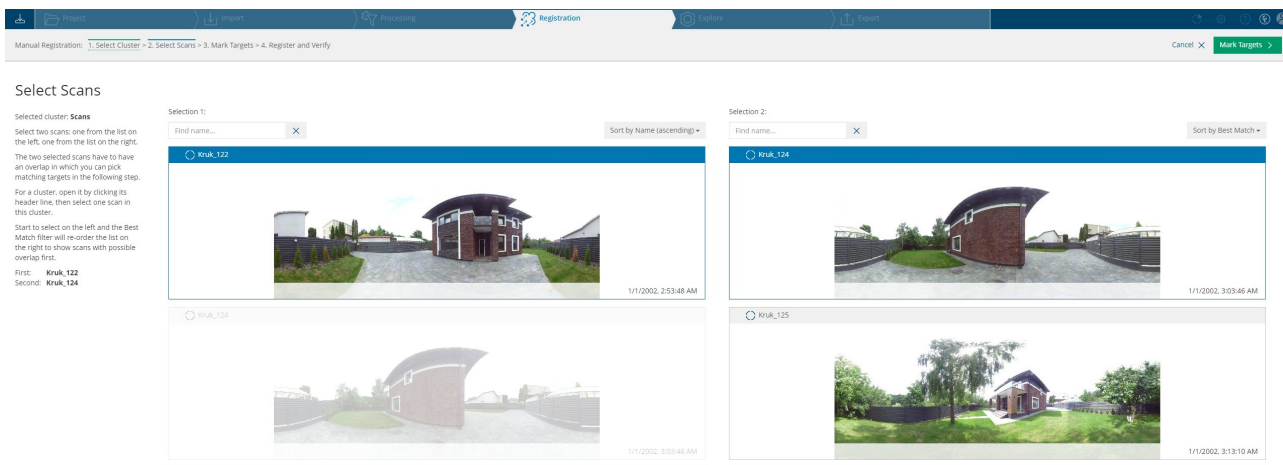


Рис.2.5.4 Вибір сусідніх сканів

Для продовження процесу я визначаю щонайменше три спільні елементи — це можуть бути характерні точки, опорні мітки, площини або їх комбінація. Процес знаходження спільних цілей зображено на рис. 2.5.5.

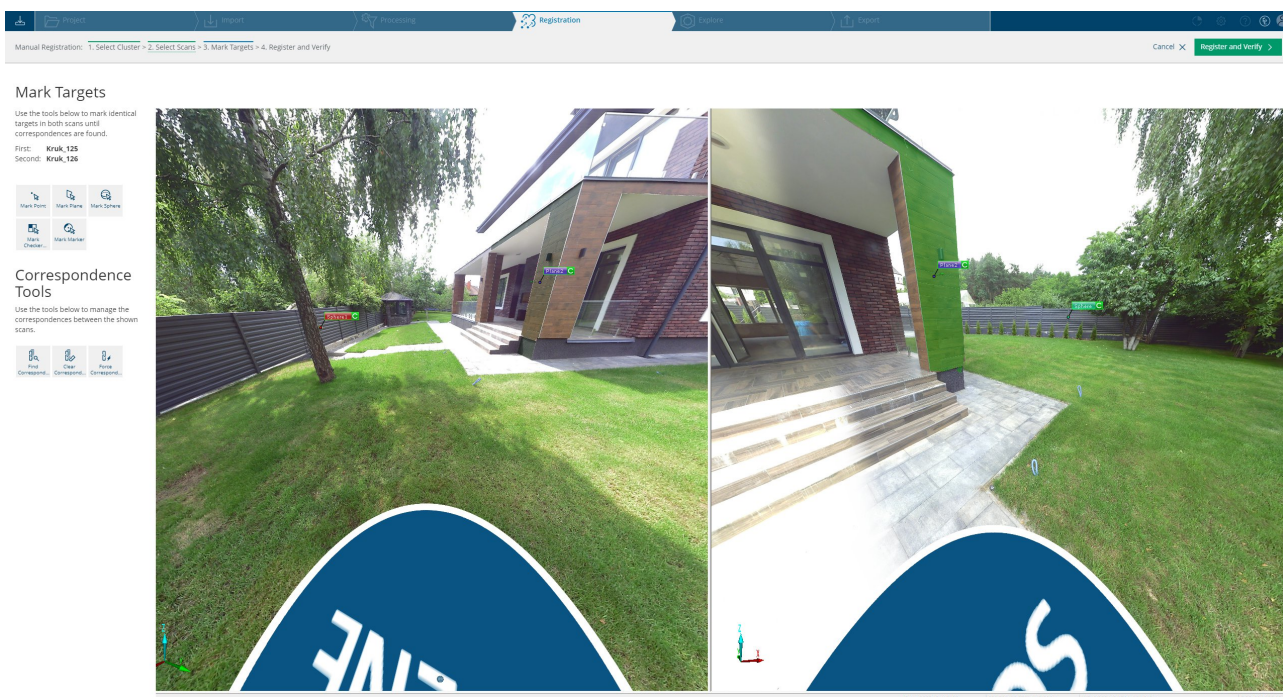


Рис.2.5.5 Знаходження трьох спільних цілей на сусідніх сканах
В такий спосіб потрібно реєструвати всі наявні скани між собою.

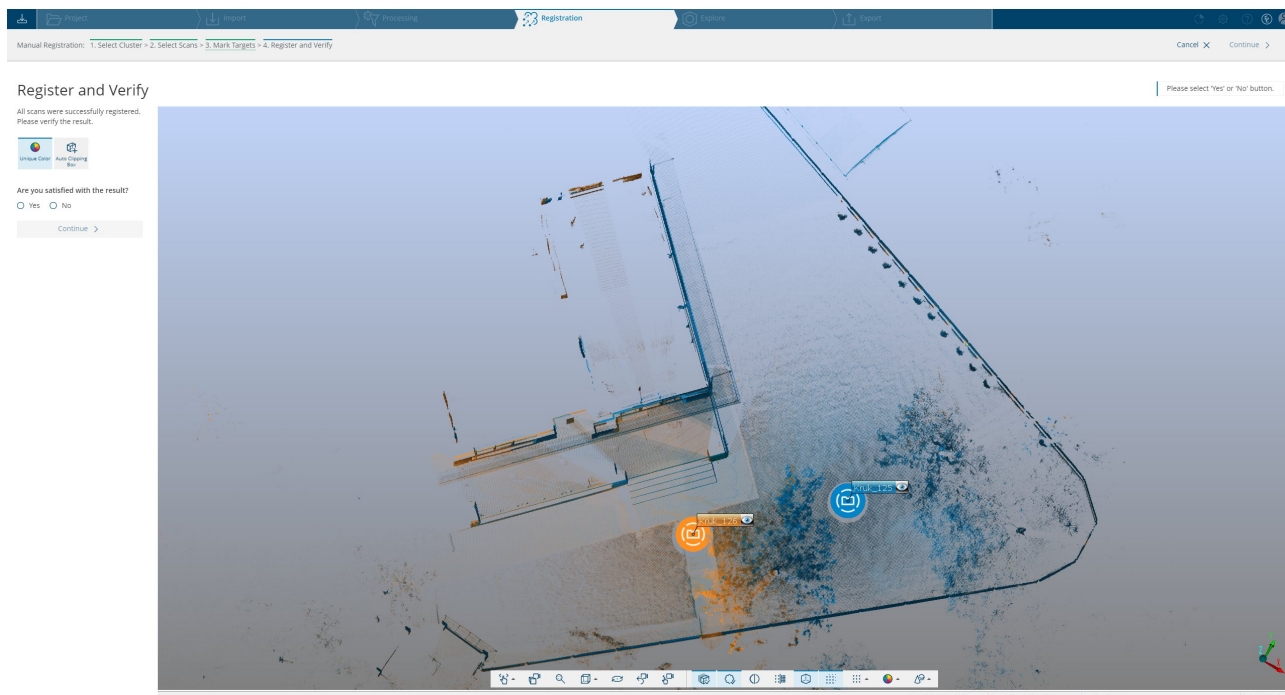


Рис.2.5.6 Реєстрація сусідніх сканів

Після завершення реєстрації програмне забезпечення пропонує провести глобальну оптимізацію з метою зменшення похибок (рис. 2.4.7).

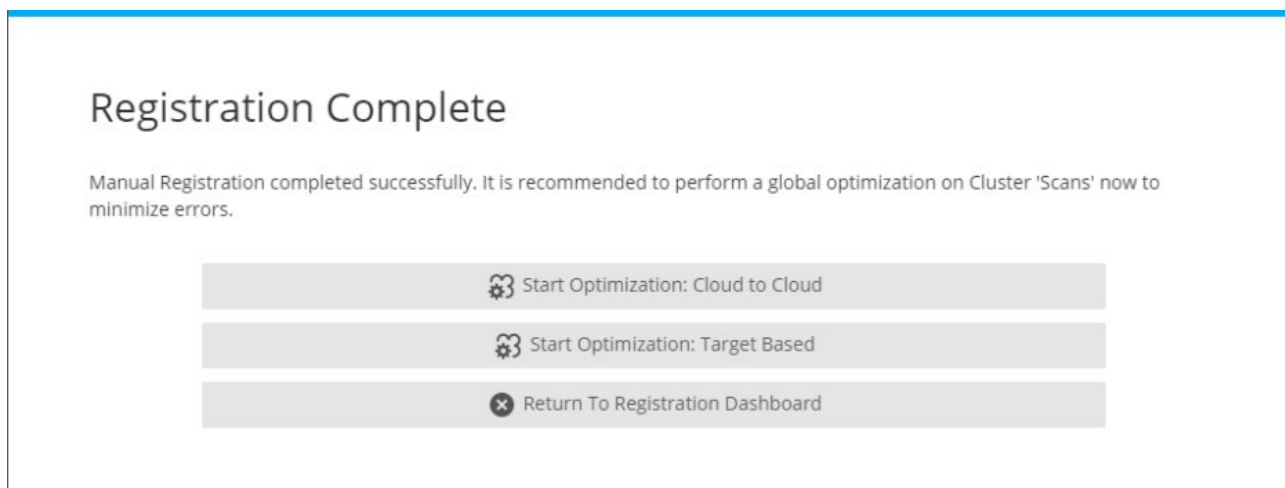


Рис.2.5.7. Вікно закінчення ручної реєстрації

Рекомендується обирати режим оптимізації «Cloud to Cloud», тобто суміщення хмари точок з іншою хмарою точок між сканами. Це дозволяє вирівняти поверхні та зменшити можливі похибки. У результаті цього етапу формується повністю зшитий проєкт. Підсумки реєстрації представлені на рисунку 2.4.8.

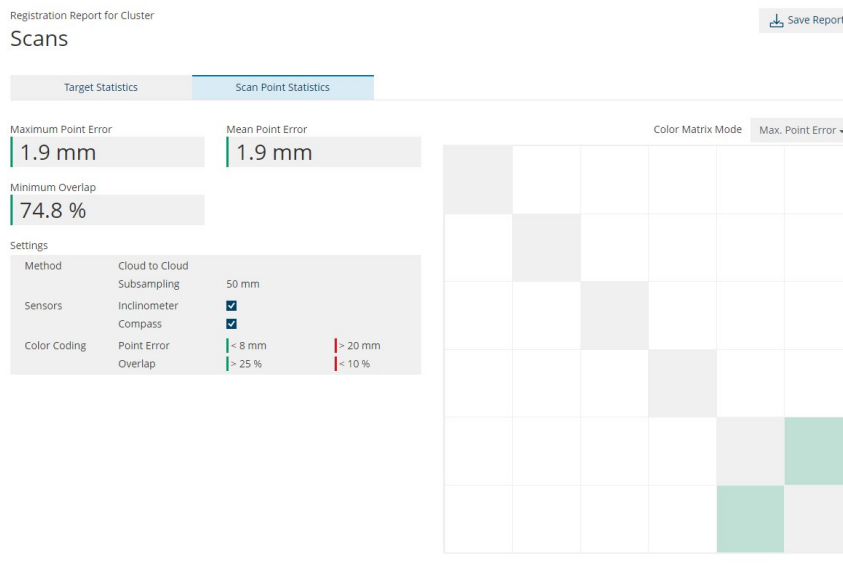


Рис.2.5.8. Звіт про реєстрацію сканів

Відображено, що мінімальне перекриття 74.8%, максимальне відхилення менше 2 мм, а середнє – 1.9 мм.

Заключним етапом оброблення є формування хмари точок. Чим більша відстань до об'єкта сканування, тим меншою стає щільність точок, що його покривають. Відповідно це призводить до того, що по об'єкту хмара точок не рівномірна. Працювати з такою хмарою точок не зручно, тому в ПЗ є функція створення хмари точок. На рисунку 2.4.9. показані налаштування хмари точок, де головним моментом є гомогенізація точкової щільності. Тобто хмару точок робимо рівномірної, наприклад, кожні 1.5 мм. Хмара точок буде розрідженою в тих місцях де вона дуже щільна

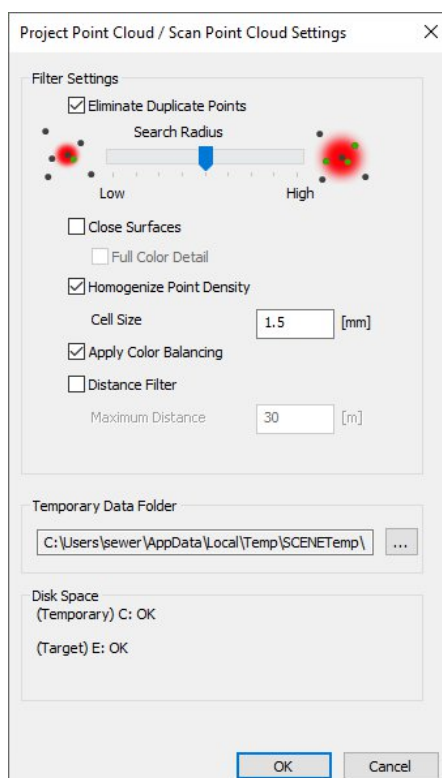


Рис.2.5.9. Налаштування створення розрідженої хмари точок

Після успішного створення хмари точок з'являється можливість експорту в наступних форматах, як на рис.2.4.10.

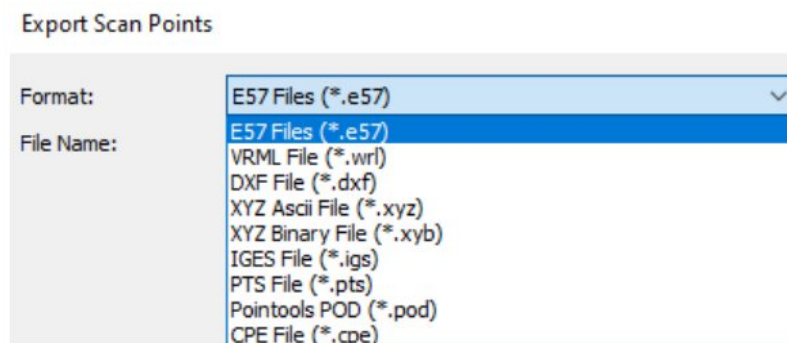


Рис.2.5.10. Формати експорту хмари точок в ПЗ SCENE

РОЗДІЛ 3. СТВОРЕННЯ 3D МОДЕЛІ СПОРУДИ В AUTODESK REVIT

3.1. Відтворення осей та рівнів об'єкту вимірювань

Першим етапом у моделюванні споруди є створення осей та рівнів об'єкта вимірювань.

Рівні створювалися за допомогою системного сімейства «Рівні», при цьому був використаний стандартний шаблон Revit «Верхній брус 8 мм».

Оскільки хмара точок має певні нерівності у горизонтальному положенні, вихідний рівень був дещо повернутий для кращого суміщення з поверхнею.

Усі наступні рівні будувалися відносно першого.



Рис.3.1.1. Налаштовані рівні споруди

Рівні створювалися за допомогою системного сімейства «Рівні», при цьому був використаний стандартний шаблон Revit. Оскільки хмара точок має певні нерівності у горизонтальному положенні, вихідний рівень був дещо повернутий для кращого суміщення з поверхнею. Усі наступні рівні будувалися відносно першого.

Наступним етапом стало відтворення координатних осей, як зображено на рис.3.1.2. Побудову осей виконано з використанням системного сімейства «Вісь сітки». Для маркування осей застосовано категорію сімейства «Метрична система, типова анотація», у якій було створено марку у вигляді кола діаметром 6,5 мм. Розташування осей узгоджувалося з усіма виступами стін та іншими несучими конструктивними елементами споруди.

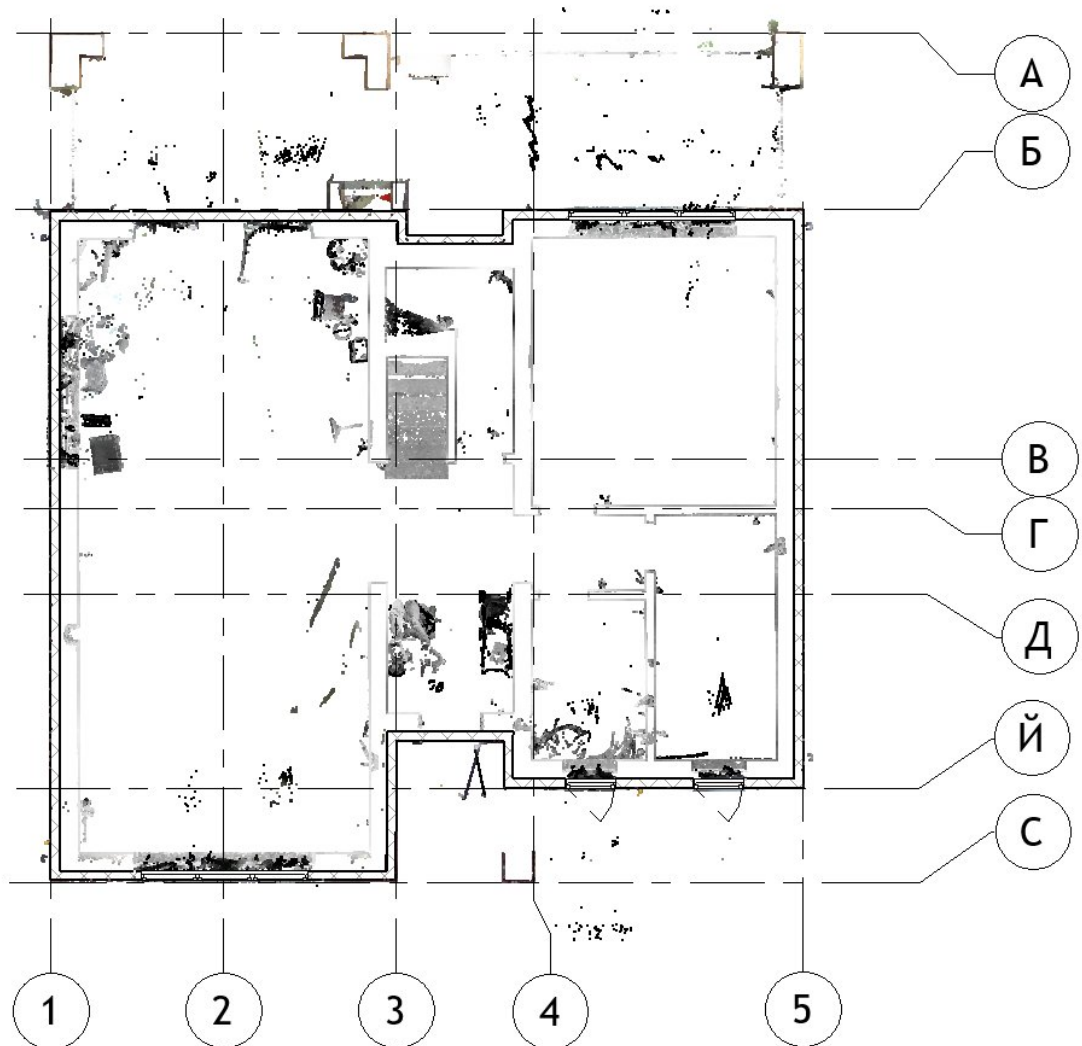


Рис.3.1.2. Побудовані осі конструкції

3.2. Створення несучих елементів споруди (стін, перекриттів)

Для початку потрібно обмалювати контур будівлі та зробити фундамент. Фундамент був зроблений товщиною 200 мм та обкладений зверху плиткою товщиною 20 мм. Також було зроблено перекриття з бетону для першого поверху товщиною 200 мм.

Перекриття було зробленого за допомогою сімейства «Підлога, перекриття». В ньому використовуючи функцію «перекриття архітектурне», щоб побудувати ескіз меж перекриття, креслю лінії в моделі.

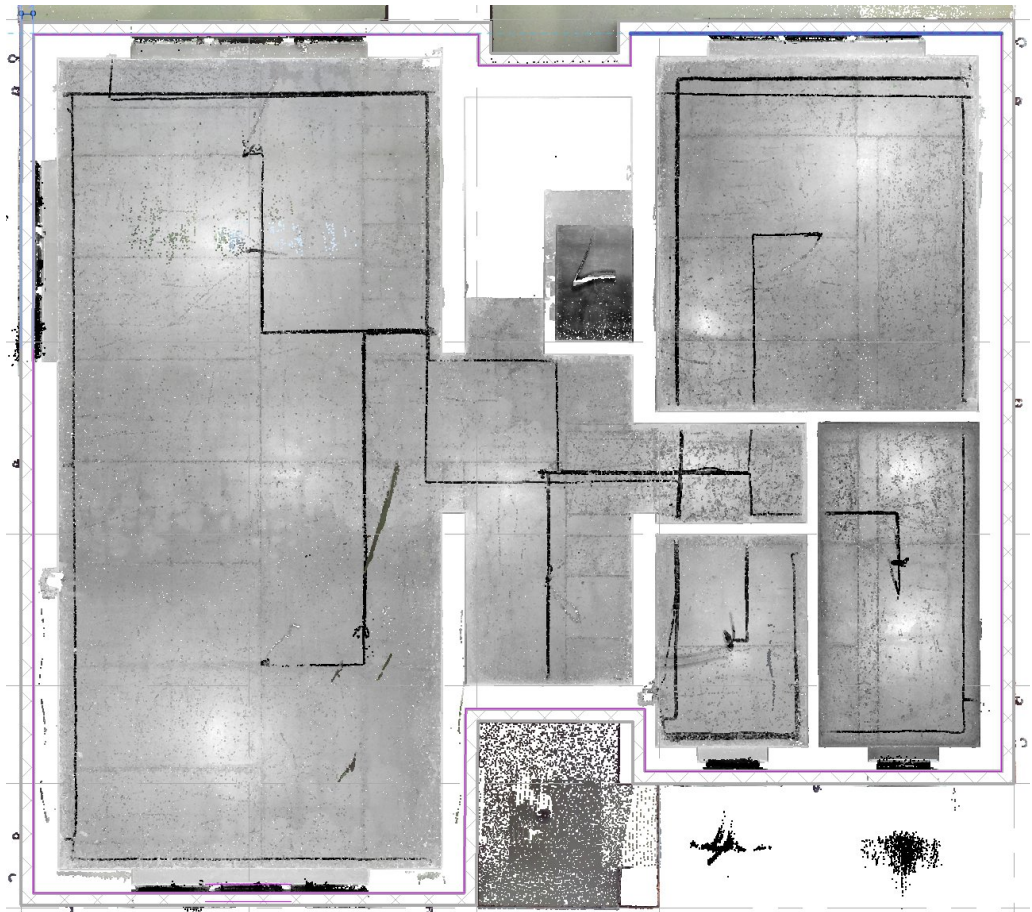


Рис.3.2.1 Створення перекриття за допомогою обведення контурів будівлі

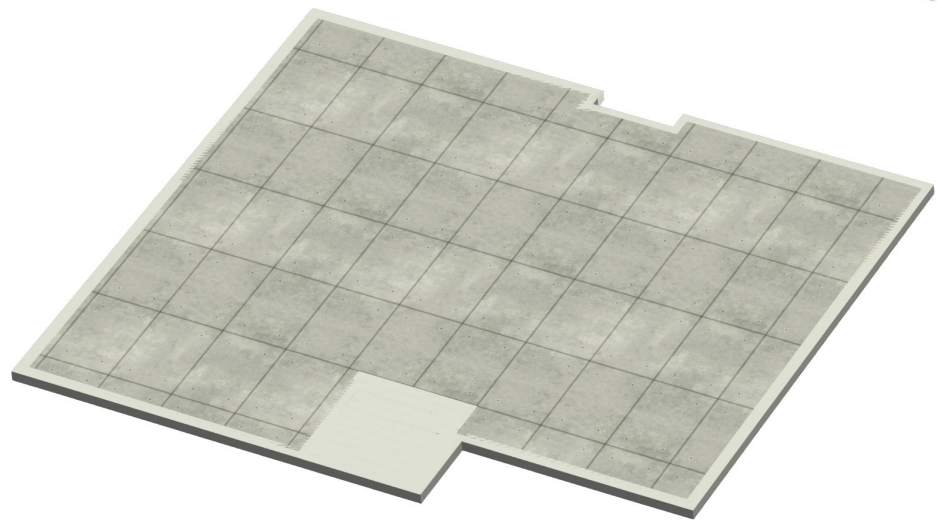


Рис.3.2.2 Створення фундаменту до першого поверху

Наступним кроком була побудова стін першого поверху. Створено цегляні стіни товщиною 130 мм з 20 мм шаром ізоляції та висотою 3,25 метри.

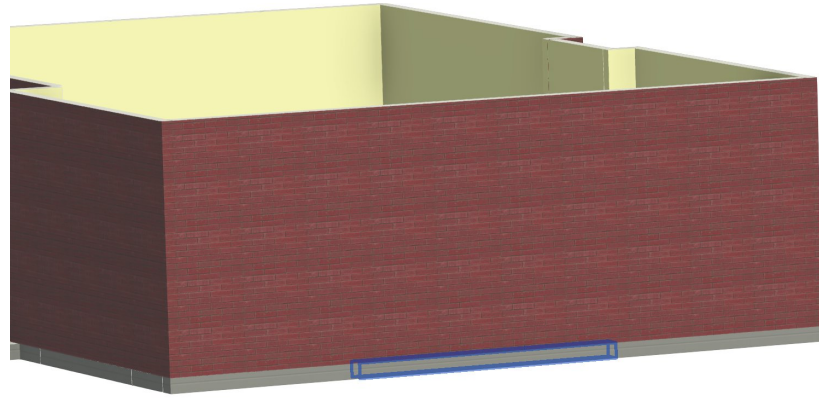


Рис.3.2.3 Приклад побудови стін

Основною складністю при роботі з хмарою точок існуючого об'єкта є нерівність площин, поверхонь та ліній. Зокрема, в цьому випадку стіни мають викривлення, що не дозволяє створити їх як єдиний елемент. Тому стіни моделюються як сукупність окремих частин, кожна з яких з заданою точністю відтворює відповідну ділянку стіни згідно з фактичним положенням на місцевості. Побудова здійснюється з вимкненими прив'язками, щоб уникнути автоматичного вирівнювання.

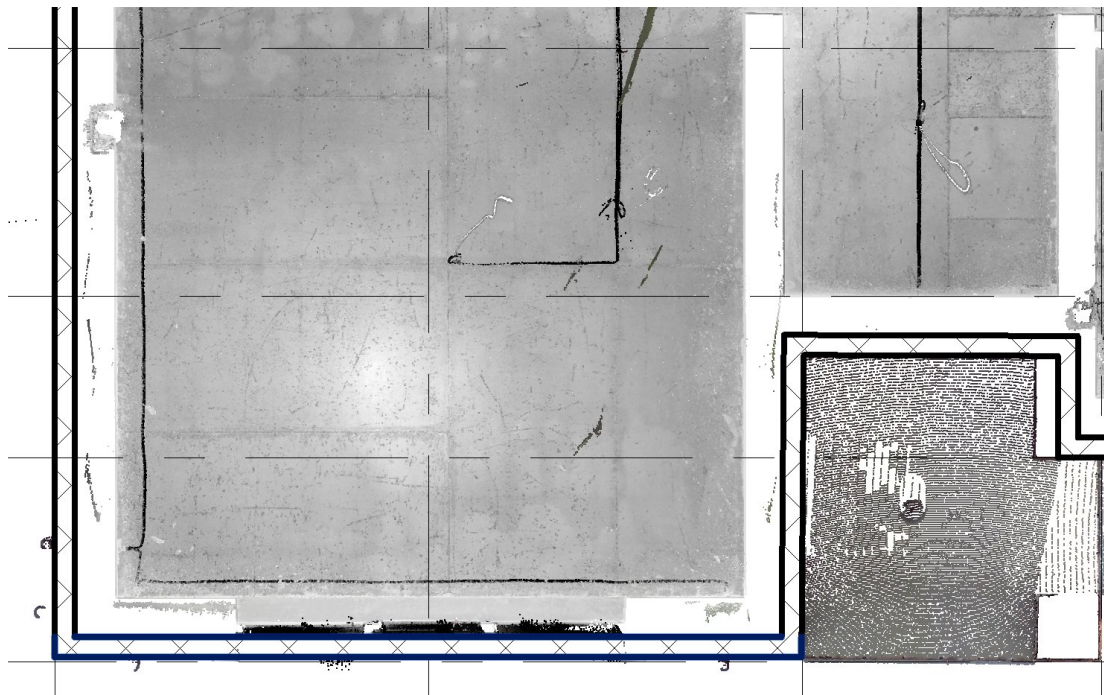


Рис.3.2.4. Візуалізація конструкції стін із кількох компонентів

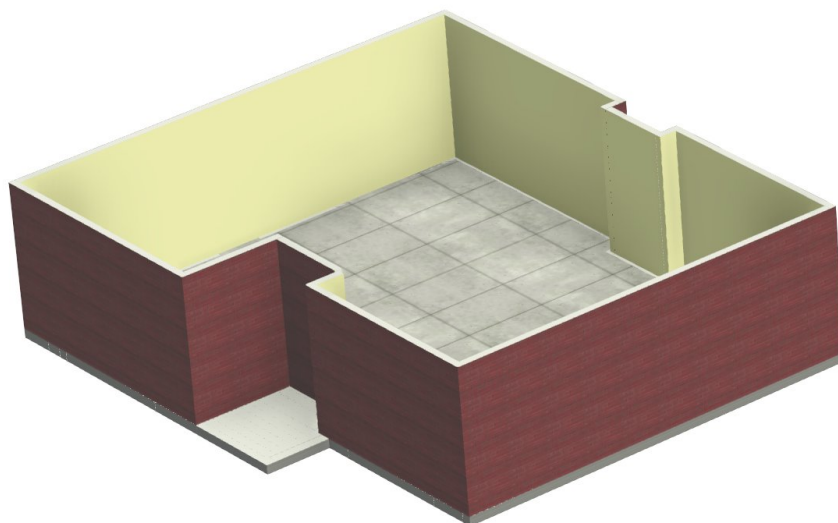


Рис.3.2.5 Створені несучі елементи споруди до першого поверху
На другому поверсі облаштовано перекриття завтовшки 200 мм. Тут зведено несучі стіни товщиною 130 мм та висотою 3 м .

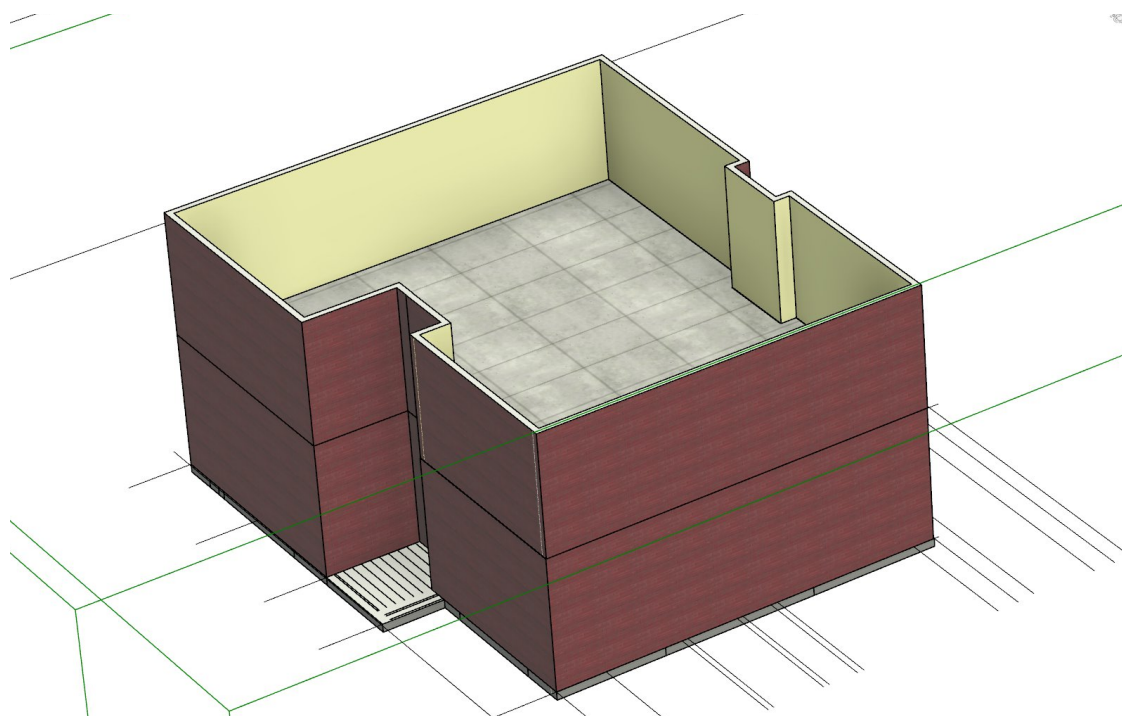


Рис.3.2.6 Приклад побудови стін 2 поверху



Рис.3.2.7 Загальний вигляд покриттів поверхів

Для забезпечення надійності даної споруди, при вході в будинок була створена колона висотою 6.25 метрів. Колона була зроблена за допомогою сімейства «Базові стіни».



Рис.3.2.8 Приклад побудови колони

На зовнішній стіні будинку було додане перекриття між першим та другим поверхом.



Рис.3.2.9 Підвіконна частина зовнішньої стіни

Навколо будівлі було змодельовано рельєф місцевості за допомогою сімейства «Перекриття», яке має складну, нерівну геометрію. Конструкція покриття складається з двох шарів:

- основний шар – ґрунт товщиною 300 мм;
- верхній облицювальний шар – дернове покриття (трава) товщиною 20 мм.

Таке рішення дозволяє реалістично відтворити ландшафт та інтегрувати будівлю у навколишнє середовище з урахуванням дизайнерського задуму та особливостей рельєфу. Потім за допомогою інструменту «Змінити піделементи» було більш чітко змінено рельєф.

Функція «Змінити піделементи» в Revit призначена для редагування поверхні перекриття або покрівлі з метою створення нерівних, похилих або складних форм без побудови нових об'єктів. Вона дозволяє змінювати висоту окремих точок або країв елемента, що особливо корисно при моделюванні рельєфу місцевості, створенні ухилів для водовідведення на покрівлях, формуванні пандусів, терас, сходиночок, а також деталізації інтер'єрів із піднятими підлогами. Завдяки цій функції можна гнучко коригувати геометрію поверхні відповідно до архітектурного або інженерного задуму.

Для відображення найточнішого виду рельєфу використовують ПЗ «Civil 3D», а потім імпортують в Revit.

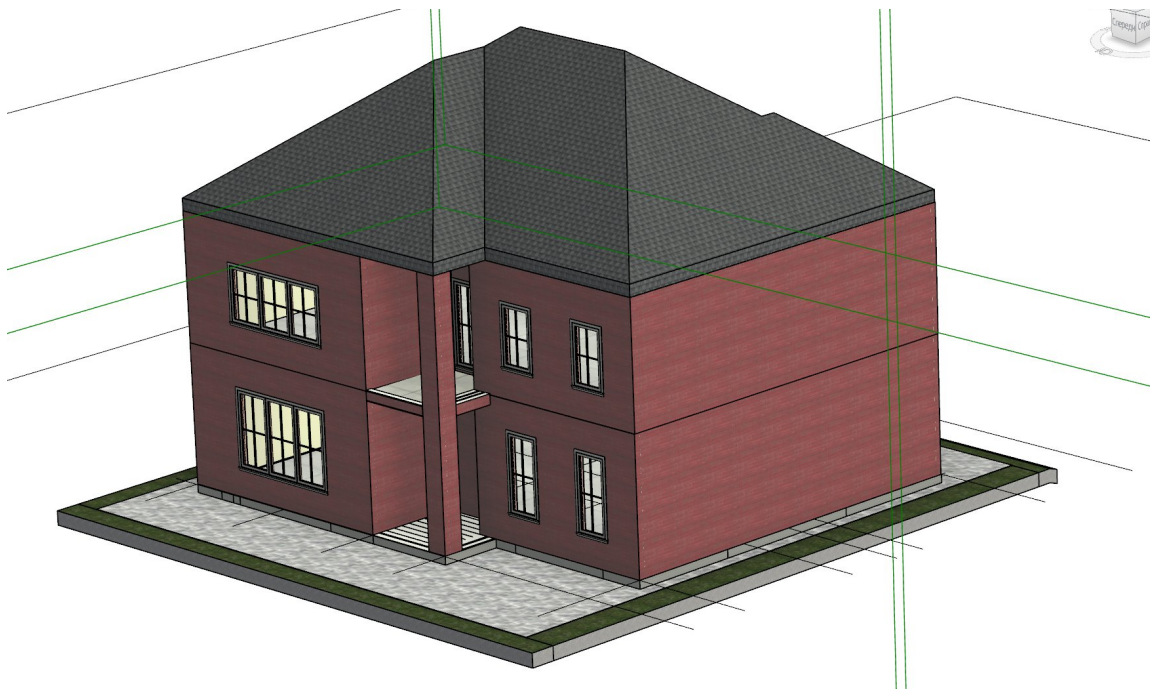


Рис.3.2.10 Приклад побудови рельєфу

Всі стіни в цьому підрозділі створено за допомогою системного сімейства «Базові стіни».

Заключним етапом цього пункту є створення даху.

230мм дах з бітумної черепиці створено по контуру у системному сімействі «Базові дахи», який починається з відмітки 6.25 метрів над фундаментом. Можна задати різні нахили та звіси для даху під час його створення або залишити значення за замовчуванням і уточнити їх пізніше.



Рис.3.2.11 Створення даху за контуром меж будівлі

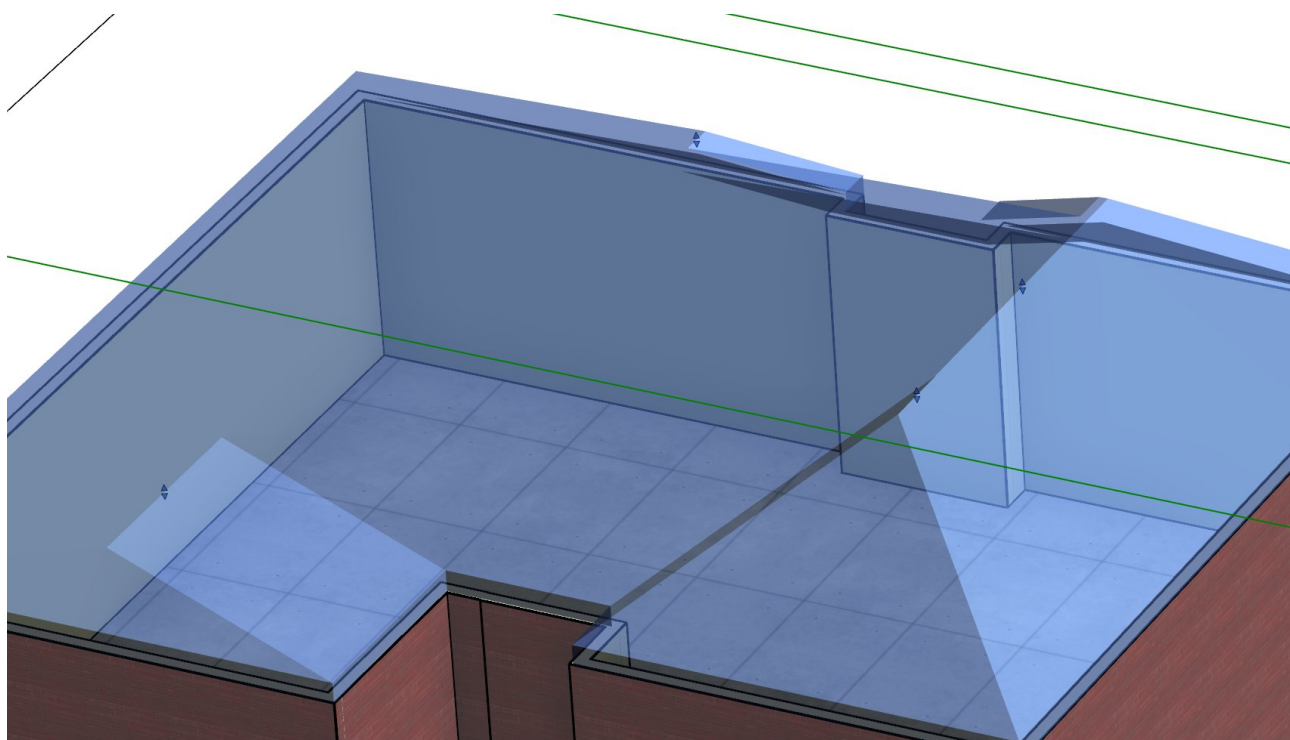


Рис.3.2.12 Приклад зміни нахилу даху за допомогою стрілок

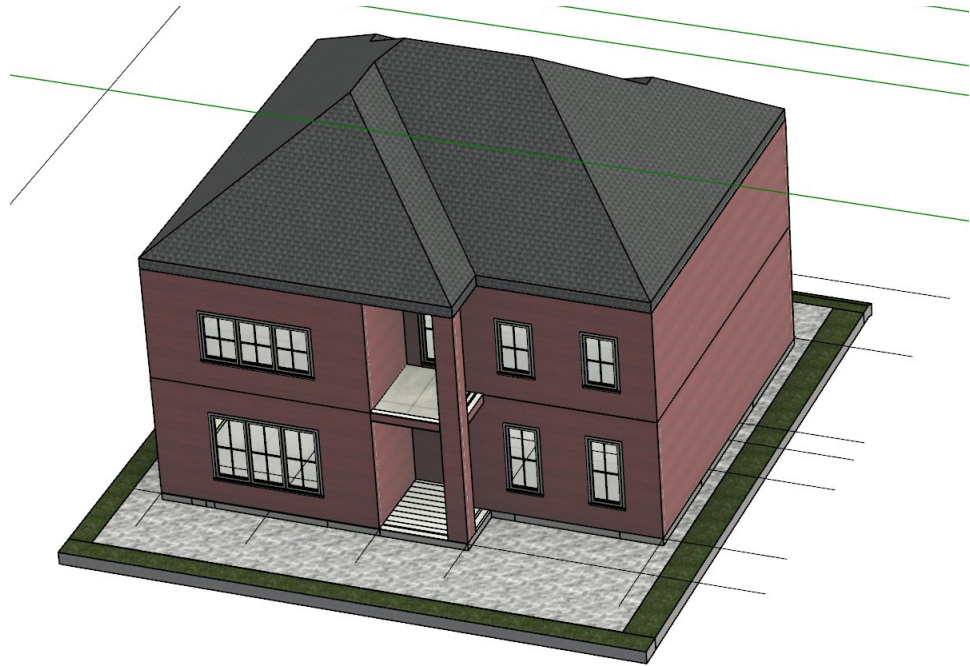


Рис.3.2.13 Створений дах споруди

3.3. Створення сімейств для побудови будівельних конструкцій

У Revit поняття сімейств (families) і екземплярів (instances) є фундаментальними для створення та управління моделлю. Ці концепції особливо важливі при роботі з елементами, такими як вікна та двері.

Сімейство — це набір параметричних об'єктів з однаковими характеристиками, що мають спільну геометрію, поведінку та функціональність.

Наприклад:

- Двері: Зовнішні двері 1-Підвісні – Ті, що відчиняються всередину
- Вікна: Вікно-тент потрійне горизонтальне, Вікно-тент одинарне горизонтальне

Усі ці варіанти можуть бути сімействами, які містять типи (types) — варіації розмірів, матеріалів або стилів.

У сімействах можна налаштувати:

- Ширину, висоту
- Матеріал рами або скла
- Стиль відкривання

- Глибину установки

Екземпляр — це конкретне розміщення елемента сімейства у моделі. Ви можете мати багато екземплярів однієї двері, але розміщених у різних місцях.

Особливості екземплярів:

- Можуть мати індивідуальні параметри (наприклад, висота установки, поворот)
- Зміни екземпляра не змінюють саме сімейство
- Можна задавати маркування, нумерацію, фазу, тощо

Приклад для вікна в проекті:

- Сімейство: Вікно-тент потрійне горизонтальне
- Тип: 2750×2765 мм
- Екземпляр 1: розміщений на південній стіні, висота установки 900 мм
- Екземпляр 2: той самий тип, але на західній стіні, з іншим маркуванням

Приклад для двері в проекті:

- Сімейство: Зовнішні двері 1-Підвісні – Ті, що відчиняються всередину
- Тип: 900×2100 мм
- Екземпляр 1: у головному вході

Переваги використання сімейств і екземплярів:

- Масове оновлення: змінивши тип — оновлюються всі пов'язані екземпляри
- Швидке створення креслень і специфікацій
- Узгодженість і стандартизація моделі
- Можливість створення власних сімейств для специфічних потреб

Вікна створювалися за категорією сімейства «Вікно». Було зроблено декілька окремих сімейств з типами вікон: одинарні та потрійне вікно.

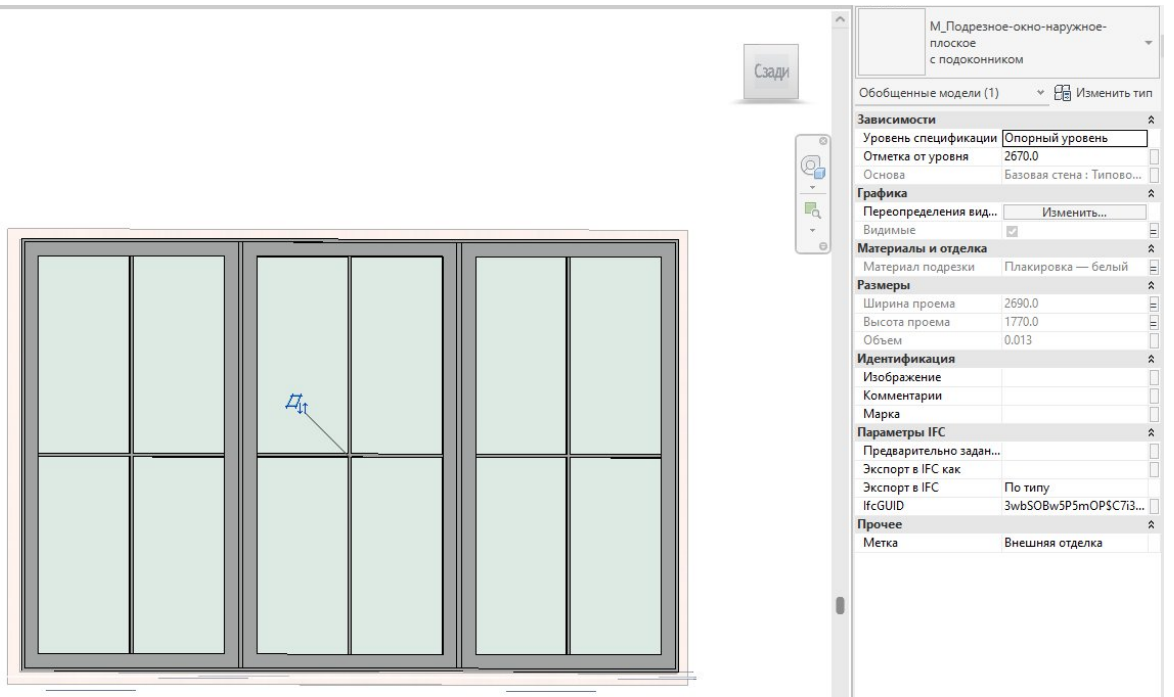


Рис.3.3.1 Властивості сімейства «Вікно»

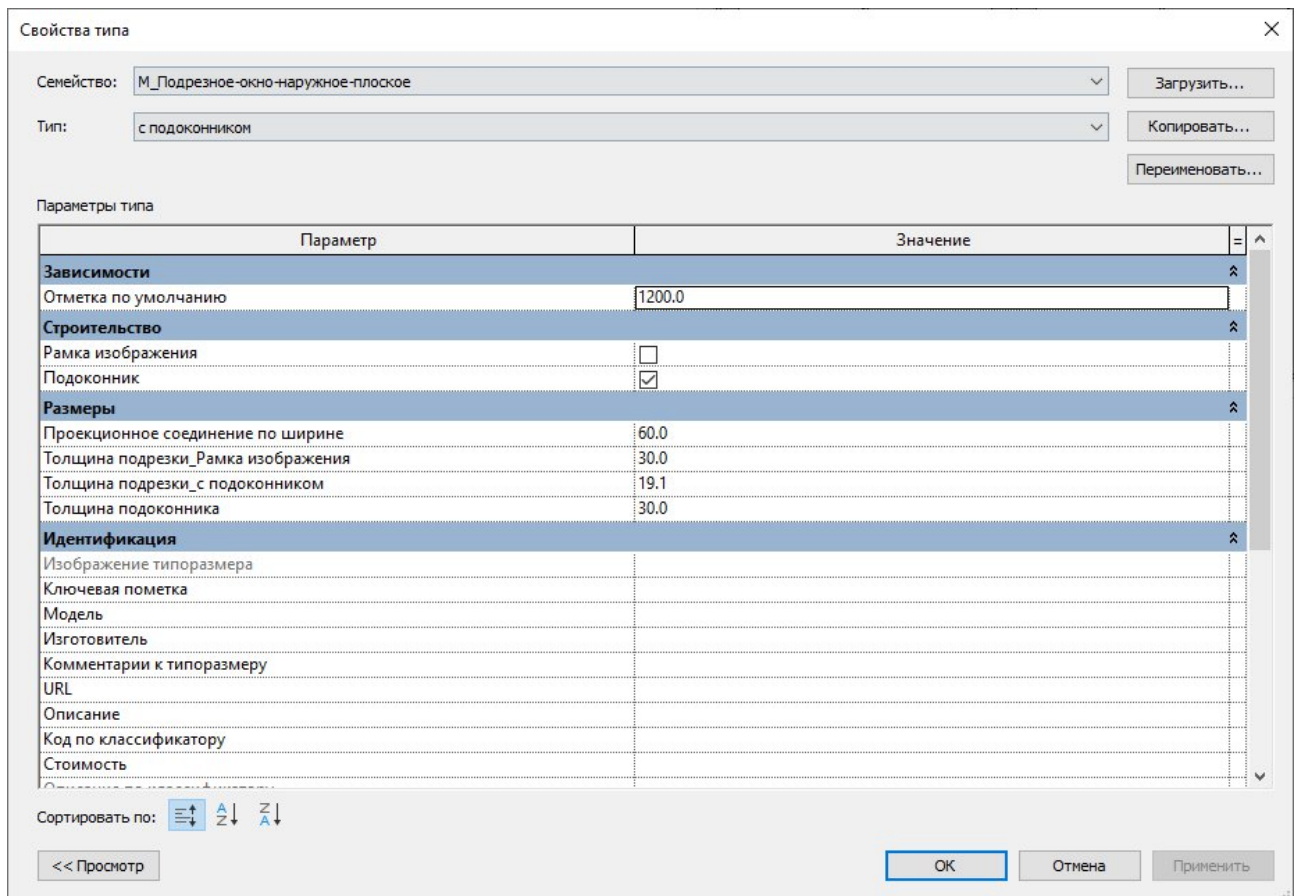


Рис.3.3.2 Приклад зміни параметрів сімейства «Вікно»

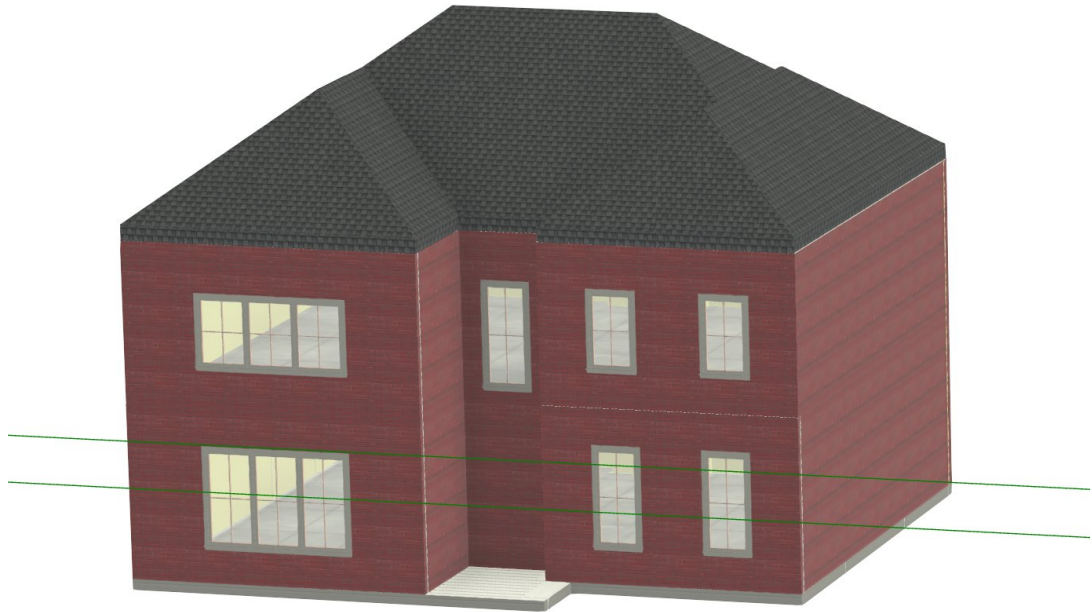


Рис.3.3.3 Різні типи створених вікон

Наступною категорією були «Двері». Модель двері створювалися на основі категорії сімейства «Двері». Було створено сімейство «Зовнішні двері 1-Навісні — Ті, що відкриваються всередину, з порогом», в котрому зроблено тип двері для входу в будинок розміром 900x2100 мм з матеріалом панелі і підрізки - дерев'яна дошка.



Рис.3.3.4 Двері на вхід в будинок

У підсумку продемонструємо повністю завершену 3D-модель будівлі, створену в програмному забезпеченні Autodesk Revit.



Рис.3.3.5 Візуалізація завершеної 3D-моделі будівлі



Рис.3.3.6 Візуалізація будинку з лівого боку



Рис.3.3.7 Вигляд будинку з тильної сторони

За результатами отриманої моделі отримуємо фасади споруди та обмірні плани кожного поверху. При найменших змінах в моделі все буде відображатися на цих фасадах та планах.



Рис.3.3.8 Фасади будівлі з різних сторін

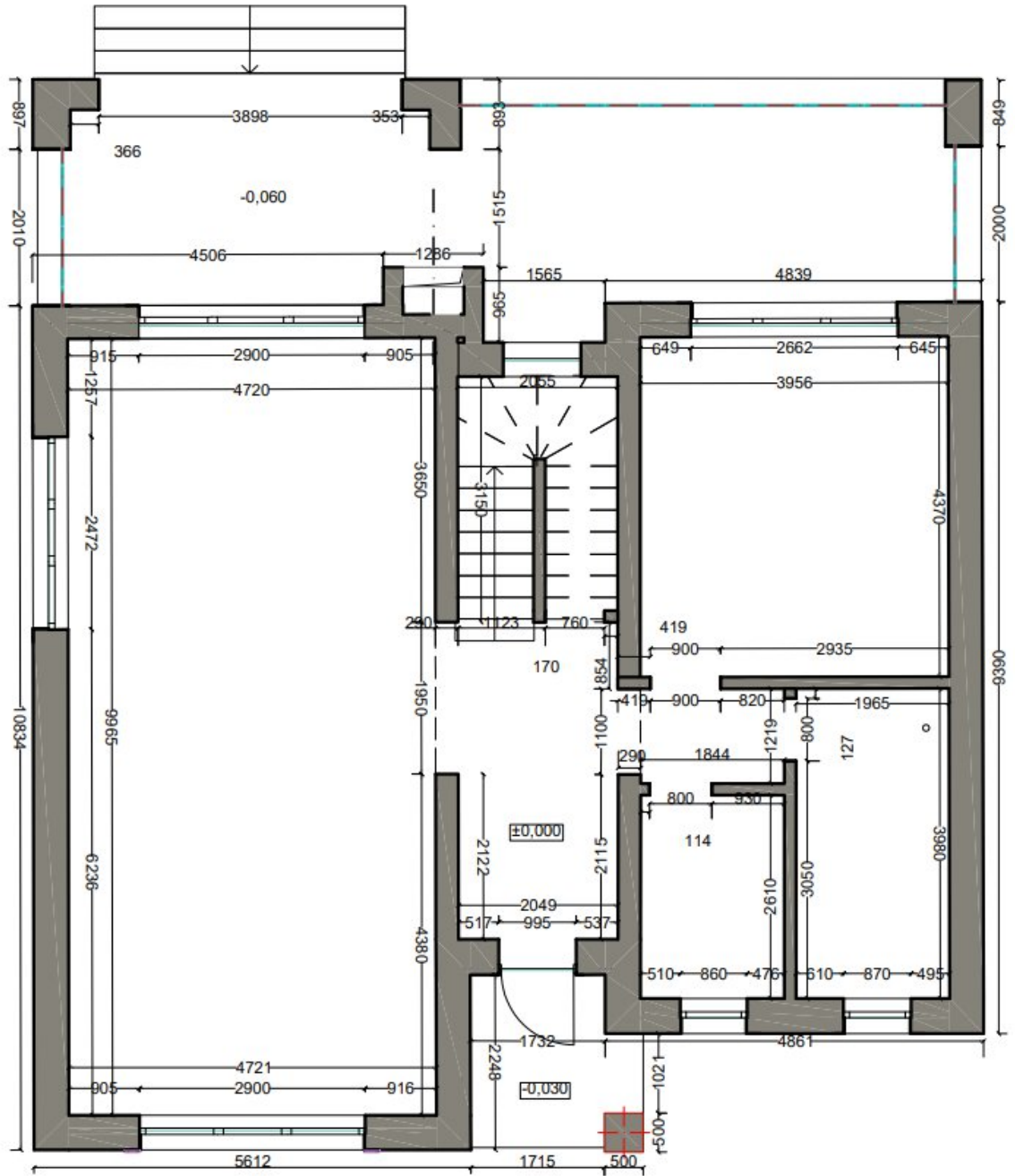


Рис.3.3.9 Обмірний план 1-го поверху

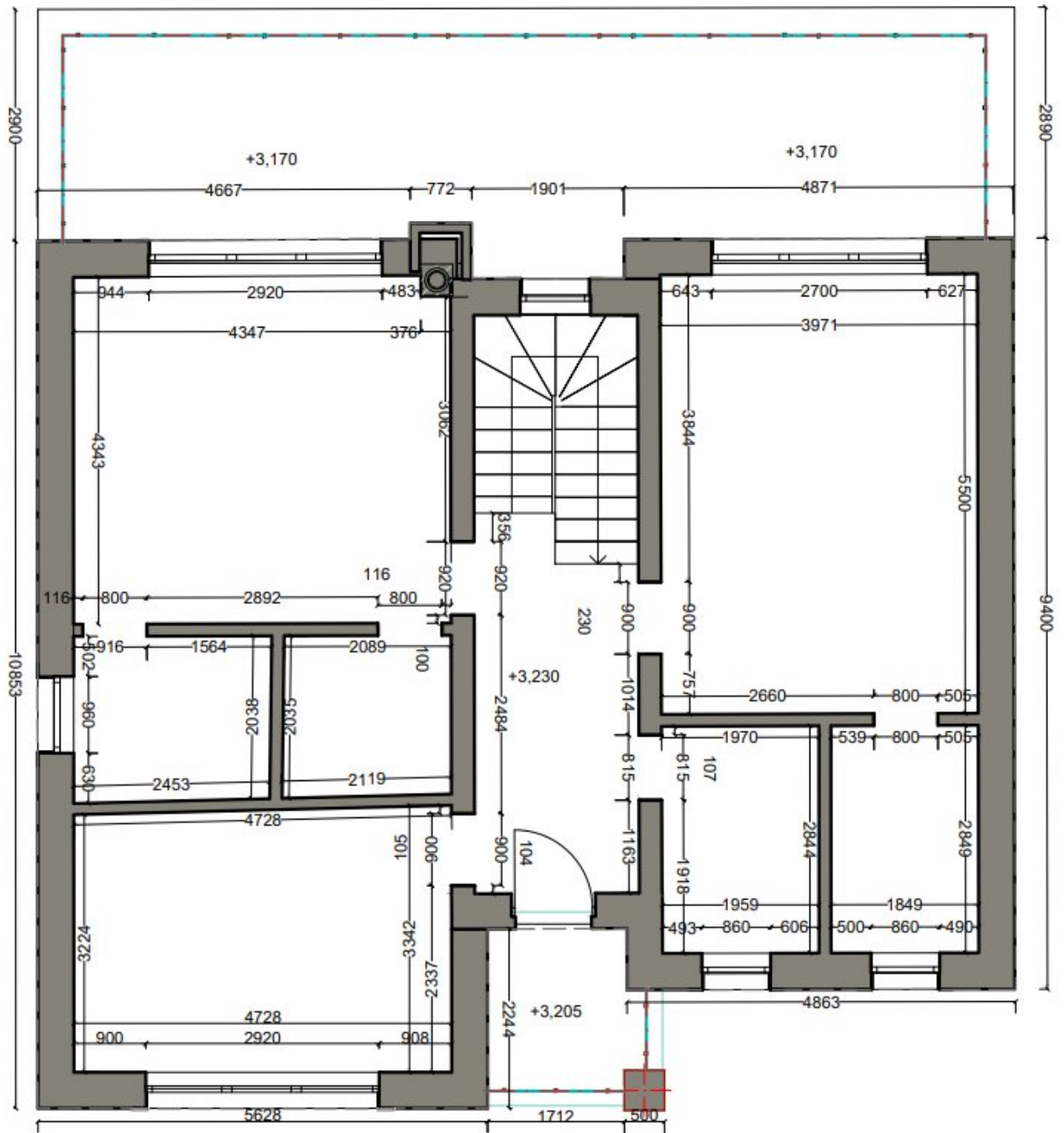


Рис.3.3.10 Обмірний план 2-го поверху

Після отримання моделі будинку було складено обмірні плани першого та другого поверхів. У результаті аналізу плану другого поверху було виявлено помилку, допущену під час будівництва: одна зі стін в одній із кімнат має відхилення від проекту на 10 см.

РОЗДІЛ 4. ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ПІД ЧАС ВИКОНАННЯ ГЕОДЕЗИЧНИХ ОБМІРНИХ РОБІТ ТА КОШТОРИС

Оскільки під час проведення геодезичних обмірних робіт основна увага та найбільше часу зосереджено на використанні наземного лазерного сканера, зокрема обладнання фірми FARO, то відповідно основні заходи безпеки спрямовані саме на роботу з цим приладом. Використання лазерного сканера FARO вимагає суворого дотримання техніки безпеки. Ці пристрої є високотехнологічними інструментами, які використовують лазерне випромінювання та чутливу електроніку, тому їх експлуатація повинна бути обережною та відповідальною.

Загальні вимоги до безпеки:

- Підготовка персоналу: Оператори повинні пройти спеціальне навчання та ознайомитися з офіційною документацією виробника.
- Перевірка обладнання: Перед кожним використанням необхідно переконатися у справності пристрою, чистоті оптики, наявності заряду акумулятора та надійності всіх з'єднань.
- Використання оригінальних аксесуарів: Застосовуйте лише сертифіковані штативи, акумулятори та кабелі, рекомендовані виробником.
- До виконання геодезичних робіт допускаються особи, що пройшли відповідний інструктаж з охорони праці, навчання з техніки безпеки та мають допуск до роботи з лазерним обладнанням.
- Перед початком робіт проводиться обстеження об'єкта для виявлення потенційно небезпечних зон (обривів, перепадів висот, місць з поганим освітленням).
- Роботи слід виконувати лише у світлу пору доби або за наявності достатнього штучного освітлення.
- Заборонено виконувати роботи під час опадів, грози або сильного вітру, якщо це впливає на стійкість обладнання або безпеку персоналу.

Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ):

- Захисні окуляри для роботи з лазерними приладами класу 1 або 1М.
- Світловідбивні жилети при роботі біля транспортних шляхів або на відкритих ділянках.
- Захисне взуття з неслизькою підошвою.
- Захисні каски при роботі на будівельних майданчиках або поблизу навислих конструкцій.
- Переносні ліхтарі або налобні лампи при роботі в затемнених приміщеннях.

Заходи безпеки при роботі з лазерним сканером FARO Focus3D

Лазерний сканер FARO Focus3D використовує невидимий лазерний промінь з довжиною хвилі 905 нм і максимальною середньою потужністю 20 мВт. Відхилення променя становить 0,19 мrad (0,011°). Сканер відповідає стандарту ІЕС 60825-1:2007 (редакція 2.0) і належить до лазерних пристроїв класу 3R. З огляду на зазначену класифікацію, прямий контакт лазерного променя з оком може призвести до пошкодження зору у разі перевищення гранично допустимого рівня експозиції. У зв'язку з цим при роботі з FARO Focus3D необхідно дотримуватись таких правил:

- Заборонено відкривати корпус сканера, щоб уникнути прямого контакту з лазером.
- При перебуванні ближче за номінальну безпечну відстань (NOHD), слід уникати прямого візування в зону випромінювання та не спрямовувати промінь на інших осіб.
- Не дивитися на промінь через оптичні або збільшувальні пристрої.
- Виключити можливість відбиття променя від дзеркальних або блискучих поверхонь — це стосується як прямого, так і відбитого випромінювання.
- Лише кваліфікований персонал, що пройшов відповідне навчання, має право працювати зі сканером.
- За необхідності роботи в зоні NOHA (номінальна зона небезпечного впливу), персонал повинен використовувати захисні окуляри, а сама зона

має бути огорожена та позначена відповідними попереджувальними знаками.

- Установи, що експлуатують лазерне обладнання класу 3R, зобов'язані призначити відповідального фахівця з лазерної безпеки.

Під час створення опорної геодезичної мережі використовувався тахеометр Leica Geosystems, що вимагає дотримання окремих правил безпеки при експлуатації.

Дозволені дії:

- Виконання кутових і лінійних вимірювань;
- Збереження та передача результатів;
- Робота з програмним забезпеченням для розрахунків;
- Передача даних на зовнішні пристрої;
- Візуалізація напрямків візування.

Заборонені дії:

- Експлуатація пристрою без проходження інструктажу з техніки безпеки;
- Робота за межами рекомендованих технічних характеристик;
- Втручання у конструкцію або програмне забезпечення приладу;
- Зняття попереджувальних наклеюк або захисних елементів;
- Використання пошкодженого або несертифікованого обладнання;
- Наведення приладу на людей, Сонце або рухомі машини;
- Робота без забезпечення безпечного середовища на об'єкті.

Безпека при роботі в приміщеннях та колекторах:

- Перед входом у закриті приміщення або колектори обов'язково перевіряється наявність вентиляції та рівень шкідливих газів.
- У тісних приміщеннях необхідно працювати вдвох — один працівник веде обміри, інший забезпечує контроль ззовні.
- Робота у вибухонебезпечному середовищі або біля електрощитів заборонена без попередньої перевірки й дозволу відповідальних осіб.

Електробезпека:

- Використання оригінальних зарядних пристроїв: Заряджайте акумулятори лише за допомогою зарядних пристроїв, рекомендованих FARO.
- Заборона на відкриття корпусу: Не відкривайте корпус сканера, оскільки всередині можуть бути високі напруги, які становлять небезпеку для життя.
- Уникнення вологи: Не експлуатуйте пристрій у вологих умовах та не допускайте потрапляння рідини всередину корпусу.

Механічна безпека:

- Стабільне встановлення: Сканер повинен бути надійно закріплений на штативі на рівній та стабільній поверхні.
- Обережність при транспортуванні: Використовуйте захисні кейси з м'яким наповненням для транспортування, уникайте ударів та падінь.
- Не залишайте без нагляду: Особливо в громадських місцях або на будівельних майданчиках.

Умови експлуатації:

- Температурний режим: Рекомендована температура експлуатації — від 5°C до 40°C. При високих температурах використовуйте захисні чохла або тіні для запобігання перегріву.
- Вологість: Уникайте роботи в умовах високої вологості або конденсації.
- Електромагнітні поля: Не використовуйте сканер поблизу сильних магнітних або електричних полів, оскільки це може вплинути на точність вимірювань

Очищення та обслуговування:

- Регулярне очищення оптики: Використовуйте стиснене повітря для видалення пилу, а при сильному забрудненні — спеціальні серветки та оптичні засоби.
- Очищення корпусу: Протирайте корпус м'якою сухою тканиною; при необхідності використовуйте ізопропіловий спирт.

- Перевірка стану: Регулярно перевіряйте стан кабелів, акумуляторів та корпусу на наявність пошкоджень.
- Профілактичне обслуговування: Рекомендується проводити щорічне технічне обслуговування та калібрування пристрою в авторизованих сервісних центрах.

Профілактичні заходи:

- Планове обслуговування: Здійснюйте регулярне технічне обслуговування, включаючи перевірку та калібрування обладнання.
- Оновлення програмного забезпечення: Слідкуйте за оновленнями прошивки та програмного забезпечення для забезпечення оптимальної роботи пристрою.
- Захист даних: Регулярно створюйте резервні копії даних та забезпечуйте їх захист від несанкціонованого доступу.
- Зберігання: Зберігайте сканер у сухому, чистому та захищеному від пилу місці.

Дотримання цих рекомендацій забезпечить безпечну та ефективну роботу з лазерними сканерами FARO, а також продовжить термін служби обладнання та зменшить ризик виникнення несправностей.

Кошторис на вишукувальні роботи

Ч.ч.	Характеристика об'єкта будівництва або виду робіт	Назва документа обґрунтування та № частин, глав, таблиць, пунктів	Розрахунок вартості	Вартість, грн.
1	2	3	4	5
Польові роботи				
2	(Польові роботи) Виготовлення і закладення центрів. Встановлення наземного робочого пункту на ділянці з твердим покриттям поверхні землі. Нівелірна марка, дюбель – цвях.	Табл.12,п.11. Категорія III k=0.85 - При проведенні польових вишукувань без виплати польового постачання до цін на ці вишукування повинні застосовуватися коефіцієнт	5,2 * 7,0 * 0,85 * 1,5	46,41
	Глибина закладання, м до 0,15 (Категорія	k=1.5 - Додаток 7 до Настанови, табл.2		

	складності III) <i>Розрахунковий показник 7/[1 центр]</i>			
3	(Польові роботи) Рекогносцировка, вимір кутів і ліній полігонометрії. Полігонометрія 2 розряди (Категорія складності I) <i>Розрахунковий показник 0.2[1 км]</i>	Табл.18,п.3. Категорія I k=0.85 - При проведенні польових вишукувань без виплати польового постачання до цін на ці вишукування повинний застосовуватися коефіцієнт k=1.21 - Додаток 7 до Настанови, табл.1	30,0 * 0,2 * 0,85 * 1,21	6,17
4	(Польові роботи) Нівелювання III класу (Категорія складності I) <i>Розрахунковий показник 0.2[1 км подвійного ходу]</i>	Табл.25,п.2. Категорія I k=0.85 - При проведенні польових вишукувань без виплати польового постачання до цін на ці вишукування повинний застосовуватися коефіцієнт k=1.21 - Додаток 7 до Настанови, табл.1	25,0 * 0,2 * 0,85 * 1,21	5,14
5	(Польові роботи) Нівелювання підземних і надземних споруджень. Зйомка споруд надземних (Категорія складності I) <i>Розрахунковий показник 975[1 колодязь, шурф, випуск, уведення, опора, уз]</i>	Табл.66,п.2. Категорія I k=0.85 - При проведенні польових вишукувань без виплати польового постачання до цін на ці вишукування повинний застосовуватися коефіцієнт k=1.21 - Додаток 7 до Настанови, табл.1	0,7 * 975,0 * 0,85 * 1,21	701,95
6	(Польові роботи) Нівелювання підземних і надземних споруджень. Нівелювання споруд надземних (Категорія складності I) <i>Розрахунковий показник 975[1 колодязь, шурф, випуск, уведення, опора, уз]</i>	Табл.66,п.4. Категорія I k=0.85 - При проведенні польових вишукувань без виплати польового постачання до цін на ці вишукування повинний застосовуватися коефіцієнт k=1.21 - Додаток 7 до Настанови, табл.1	0,7 * 975,0 * 0,85 * 1,21	701,95
Камеральні роботи				
8	(Камеральні роботи) Складання програми (проєкту виробництва) інженерно-геодезичних і гідрографічних вишукувань, технічного звіту. Вартість вишукувань, до 2 тис.	Табл.86,п.1. Категорія I k=1.21 - Додаток 7 до Настанови, табл.1	105,0 * 1,0 * 1,21	127,10

	крб.Ціна програми (проекту виконання) вишукувань <i>Розрахунковий показник 1/[1 програма]</i>			
9	(Камеральні роботи) Складання програми (проекту виробництва) інженерно-геодезичних і гідрографічних вишукувань, технічного звіту. Вартість вишукувань, до 2 тис. крб. Ціна технічного звіту <i>Розрахунковий показник 1/[1 звіт]</i>	Табл.86,п.1. Категорія II k=1.21 - Додаток 7 до Настанови, табл.1	152,0 * 1,0 * 1,21	183,92
10	(Камеральні роботи) Рекогносцировка, вимір кутів і ліній полігонометрії. Полігонометрія 2 розряди (Категорія складності I) <i>Розрахунковий показник 0.2/[1 км]</i>	Табл.18,п.3. Категорія I k=1.21 - Додаток 7 до Настанови, табл.1	4,1 * 0,2 * 1,21	0,99
11	(Камеральні роботи) Нівелювання III класу (Категорія складності I) <i>Розрахунковий показник 0.2/[1 км подвійного ходу]</i>	Табл.25,п.2. Категорія I k=1.21 - Додаток 7 до Настанови, табл.1	5,5 * 0,2 * 1,21	1,33
	Витрати на внутрішній транспорт	k=1.25 - До витрат по внутрішньому транспорту, визначеним по табл.4	(1560,8 * 0,09) * 1,25	175,59
	Витрати на організацію і ліквідацію	k=0.7 - При виконанні вишукувань на відстані до 25 км від постійного місцезнаходження дослідницької (проектно-дослідницької) організації до розмірів витрат по організації і ліквідації вишукувань, визначеним по табл.6 з урахуванням примітки 1	[1391,18 * 0,033 + 1391,18 * 0,027] * 0,7	58,43
	Витрати по метрологічному забезпеченню єдності і точності засобів вимірів і додаткових амортизаційних відрахувань по виробничому устаткуванню і транспорту	k=0,05		

	пункт 14 вказівок до застосування:			
	- польові інженерно-геодезичні		1398,76*0,05	69,94
	- камеральні інженерно-геодезичні		308,68*0,05	15,43
	Всього польові роботи + транспорт та організація і ліквідація + метрологія:			
	- інженерно-геодезичні роботи	п.п.2+3+4+5+6	(46,41 + 6,17 + 5,14 + 701,95+ 701,95) + 69,94	1531,53
		k=1.32 Коефіцієнт до підсумку кошторисної вартості вишукувань, визначеної за цінами відповідних глав і таблиць Збірника цін	((46,41 + 6,17 + 5,14 + 701,95+ 701,95) + 69,94) * 1,32	2021,61
		i=39.66 Додаток 7 до Настанови, табл.3, п.4 (інженерно-геодезичні роботи)	(2021,61+199,11) * 39,66	88073,75
	Всього камеральні роботи + метрологія:			
	- інженерно-геодезичні роботи	п.п.8+9+10+11	(127,10 + 183,92 + 0,99 + 1,33)+15,34	328,68
		k=1.32 Коефіцієнт до підсумку кошторисної вартості вишукувань, визначеної за цінами відповідних глав і таблиць Збірника цін	((127,10 + 183,92 + 0,99 + 1,33)+15,34) * 1,32	433,85
		i=39.66 Додаток 7 до Настанови, табл.3, п.4 (інженерно-геодезичні роботи)	433,85 * 39,66	17206,49
	Разом, грн.			105280,24
	Разом по кошторису, грн.			105280,24
	ПДВ (20,00%)			21056,05
	Всього, грн.			126336,29

Всього за кошторисом

Сто п'ять тисяч двісті вісімдесят гривень 24 копійки

ПДВ 20,00% - Двадцять одна тисяча п'ятдесят шість гривень 05 копійок

Всього Сто двадцять шість тисяч триста тридцять шість гривень 29 копійок

Висновок

У даній дипломній роботі було розглянуто повний спектр геодезичних робіт, необхідних для створення BIM-моделі об'єкта архітектури з використанням наземного лазерного сканування. Під час виконання роботи було доведено, що метод НЛС є найбільш доцільним і ефективним інструментом для обмірних робіт, особливо коли йдеться про об'єкти складної геометрії або історико-культурної цінності.

В процесі дослідження було виконано створення планово-висотної опорної геодезичної мережі, розрахунок точності геодезичних вимірювань, виконання наземного сканування фасадів та внутрішніх приміщень, а також обробка отриманої «хмари точок» і побудова інформаційної моделі об'єкта в середовищі Autodesk Revit. Отримані результати підтвердили, що методика забезпечує високу точність, економію часу і зменшення витрат.

BIM-модель, створена за результатами сканування, дозволяє зберігати повну інформацію про архітектурну споруду, включаючи геометричні характеристики, матеріали і конструктивні елементи. Це відкриває широкі можливості для подальшого використання моделі в проектах реставрації, реконструкції, реновації чи технічного обслуговування.

Загалом, дипломна робота довела практичну цінність та ефективність інтеграції геодезичних методів і BIM-технологій у сучасному будівництві.

Список використаної літератури

1. ОСНОВНІ ЗАСАДИ ВІМ ПРОЕКТУВАННЯ ПРИ РОЗРОБЦІ КОНСТРУКТИВНИХ РІШЕНЬ В AUTODESK REVIT / Андрухов В.М., Матвійчук В.В. / УДК 004.9:624.04(045) - <https://doi.org/10.31649/2311-1429-2020-1-18-26>
2. «Leica FlexLine plus User Manual» - <https://leica-geosystems.com/products/laser-scanners/scanners>
3. Leica Pegasus:Two Datasheet [Електронний ресурс]. — Режим доступу : http://www.leica-geosystems.in/en/Leica-PegasusTwo_105371.htm.
4. «What is LOD, LOI, LOG, LOIN?» -Режим доступу:<https://buildext.com/en/what-is-lod-loi-log-loin/>
5. ДБН А.2.1-1:2014 "Інженерні вишукування для будівництва"
6. ДБН В.1.3-2:2010 Система забезпечення точності геометричних параметрів у будівництві. Геодезичні роботи у будівництві. Зі Зміною № 1
7. «Інженерна геодезія»: Монографія / П.І. Баран. - К.: ПАТ "ВІПОЛ", 2012. - 618 с. ISBN 978-966-646-125-7
8. <https://www.faro.com/en/Products/Hardware/Focus-Laser-Scanners>
9. Авіаційне лазерне сканування / Бурштинська Х., Бабуся А.В. . – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2019. 116 с.
10. Wassim Moussa(2010). Digital Preservation of the Hirsau Abbey by Means of Static LiDAR & HD Close-Range Photogrammetry
11. «Керівництво зі створення сімейств у Autodesk Revit» - <https://forums.autodesk.com/autodesk/>
12. ДСТУ EN 60825-1:2019 Безпека лазерних виробів. Частина 1. Класифікація обладнання та вимоги (EN 60825-1:2014, IDT; ІЕС 60825-1:2014, IDT).
13. «Інженерна геодезія»: : навч. посіб. [Електронне видання] / Войтенко. С. П. – Чернігів : НУ «Чернігівська політехніка», 2022. – 196 с. ISBN 978-617-7932-30-6
14. Наземне лазерне 3D сканування [НУ «Львівська політехніка», Інститут геодезії]. [Електронний ресурс]. — Режим доступу : <http://3dlaserscan.xyz>.