

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
Факультет землевпорядкування**

УДК _____

ПОГОДЖЕНО
Декан факультету
землевпорядкування

(назва факультету)
к.е.н. Шевченко О.В.

(підпис) (ПІБ)
“ ” _____ 2025 р.

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ
В.о. завідувача кафедри
геодезії та картографування

(назва кафедри)
д.е.н. Євсюков Т.О.

(підпис) (ПІБ)
“ ” _____ 2025 р.

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на тему:
«ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ЛАЗЕРНОГО СКАНУВАННЯ ДЛЯ
МОНІТОРИНГУ ДЕФОРМАЦІЇ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТУНЕЛЮ»

Спеціальність – G 18 «Геодезія та землеустрій»

Освітня програма – «Геодезія та землеустрій»

Орієнтація освітньої програми – освітньо-професійна

Гарант освітньої програми

д.е.н., професор

(підпис) Андрій МАРТИН

**Керівник магістерської
кваліфікаційної роботи**

д.е.н., доцент

(підпис) Іван ОПЕНЬКО

Виконав

(підпис) Микита КОЖЕМ'ЯКО

Київ – 2025

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
Факультет землевпорядкування**

**ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
геодезії та картографії**

д.г.н., проф. _____ І.П. Ковальчук
«__» _____ 2024 року

**ЗАВДАННЯ
ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
СТУДЕНТУ**

Кожем'яко Микиті Сергійовичу

Спеціальність G 18 «Геодезія та землеустрій»

Освітня програма «Геодезія та землеустрій»

Орієнтація освітньої програми – освітньо-професійна

Тема магістерської роботи «Застосування технології лазерного сканування для моніторингу деформації залізничного тунелю» затверджена наказом ректора НУБіП України від «18» листопада 2024 року № 2062 «С».

Термін подання завершеної роботи на кафедру за 10 днів початку роботи ЕК.

Вихідні дані до магістерської роботи: законодавча та нормативно-правова база України, наукові публікації та науково-методична література з теми дослідження; проектна документація тунелю, геологічні звіти про деформацію; дані лазерного сканування отримані шляхом польових вимірювань.

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Визначити початкове положення пунктів спостереження за деформацією окремих елементів тунелю.

2. Провести планово-висотну зйомку елементів тунелю методом лазерного сканування.

3. Скласти каталог координат і висот пунктів тунельної тріангуляції, пунктів тунельної полігонометрії та пунктів спостереження за деформаціями.

Перелік графічного матеріалу: схема закладки пункту тунельної полігонометрії; схема мережі тунельної полігонометрії; схема кріплення пункту спостереження за деформацією; схема мережі нівелірних ходів; схема методики

вимірювання планово-висотного положення пунктів спостереження за деформаціями; схема січення облицювання тунелю.

Дата видачі завдання «10» грудня 2024 року

**Керівник магістерської
кваліфікаційної роботи**

Іван ОПЕНЬКО

Завдання прийняв до виконання

Микита КОЖЕМ'ЯКО

ЗМІСТ

ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1 ТЕОРЕТИКО-МЕТОДИЧНЕ ТА НОРМАТИВНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ застосування технології лазерного сканування для моніторингу деформації залізничного тунелю	11
1.1 Науково-теоретичні засади застосування технології лазерного сканування для моніторингу деформації інженерних об'єктів	11
1.1.1 Принцип дії технології лазерного сканування	11
1.1.2 Переваги та можливості використання лазерного сканування для моніторингу деформацій	12
1.1.3 Поєднання лазерного сканування з GNSS-спостереженнями, тахеометрією та нівелюванням	12
1.1.4 Вітчизняний та іноземний досвід застосування лазерного сканування	13
1.1.5 Практичні результати використання технології для моніторингу залізничного тунелю	14
1.2 Нормативно-правове забезпечення застосування технології лазерного сканування для моніторингу деформації залізничного тунелю	14
1.2.1 Законодавча база	14
1.2.2 Нормативно-технічні документи	15
1.2.3 Вимоги до геодезичного моніторингу споруд	16
1.2.4 Вимоги техніки безпеки під час виконання робіт	17
РОЗДІЛ 2 ГЕОДЕЗИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА ПОЛЬОВІ РОБОТИ ПРИ МОНІТОРИНГУ ДЕФОРМАЦІЇ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТУНЕЛЮ	18
2.1 Структура геодезичної основи	18
2.2 Геодезична основа для будівництва тунелю	18
2.3 Лінії нівелювання I класу Державної геодезичної мережі та нівелювання II класу	19

2.4	Обстеження пунктів геодезичної основи для будівництва.....	19
2.5	Обстеження знаків нівелірної мережі	22
2.6	Супутникові геодезичні спостереження на пунктах тунельної тріангуляції	24
2.6.1	Супутникові геодезичні приймачі.....	24
2.6.2	Виконання супутникових геодезичних спостережень на пунктах тунельної тріангуляції	25
2.7	Вимірювання кутів і ліній на пунктах тунельної полігонометрії	27
2.8	Визначення початкового положення пунктів спостереження за деформацією окремих елементів тунелю	30
2.9	Нівелювання III класу по пунктах тунельної полігонометрії	31
2.10	Планово висотна зйомка елементів тунелю методом лазерного сканування	33
2.10.1	Технічні характеристики приладу	33
2.10.2	Польові роботи	35
РОЗДІЛ 3 КАМЕРАЛЬНІ РОБОТИ З ОПРАЦЮВАННЯ ГЕОДЕЗИЧНИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ		36
3.1	Опрацювання супутникових геодезичних спостережень	36
3.2	Порівняльний аналіз результатів GNSS спостережень та старих даних тунельної тріангуляції	36
3.3	Опрацювання польових вимірювань та вирівнювання мережі тунельної полігонометрії.....	38
3.3.1	Попереднє опрацювання лінійно-кутових вимірювань	38
3.3.2	Вирівнювання мережі тунельної полігонометрії.....	41
3.4	Опрацювання матеріалів нівелювання III класу по пунктах тунельної полігонометрії.....	42
3.5	Опрацювання матеріалів лінійно-кутових вимірювань на пунктах для спостережень за деформаціями	49

3.6	Складання каталогу координат і висот пунктів тунельної триангуляції, пунктів тунельної полігонометрії та пунктів спостереження за деформаціями	50
3.7	Камеральне опрацювання результатів лазерного сканування.....	54
3.7.1	Імпорт, реєстрація та геоприв'язка хмари точок	54
3.7.2	Результати камерального опрацювання лазерного сканування	60
РОЗДІЛ 4 СТВОРЕННЯ КРЕСЛЕНЬ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕМЕНТІВ ТУНЕЛЮ		64
4.1	Створення повздовжнього профілю положення колії залізниці та склепіння тунелю	64
4.2	Побудова поперечних січень облицювання тунелю в середовищі AutoCAD за даними лазерного сканування.....	65
4.3	Визначення деформації залізничного тунелю та складання пакету креслень	68
ВИСНОВКИ.....		72
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....		73
ДОДАТКИ.....		78

ВСТУП

Підтримання залізничних тунелів у належному стані – ключове завдання для безпеки перевезень та його експлуатації. Ці споруди постійно зазнають навантаження, що може призводити до поступових, але небезпечних деформацій та осідань. Сьогодні для контролю за їх станом у нашому арсеналі є безліч інструментів, один із яких – технологія лазерного сканування. Вона дає можливість отримати надзвичайно точну модель тунелю. Це дозволяє не просто подивитися на конструкцію, а й порівнювати її поточний стан із попередніми вимірами. Такий підхід допомагає завчасно виявити будь-які відхилення від норми та першо чергового положення, що робить цю технологію незамінною для підвищення надійності та продовження життя залізничних тунелів.

Актуальність. Переваги використання технологій лазерного сканування для моніторингу тунелів є беззаперечними. Сучасні системи лазерного сканування забезпечують високу точність вимірювань і дозволяють створювати детальну тривимірну модель конструкції або високоточні 2D креслення тунелю. Це дає можливість виявляти навіть незначні деформації або відхилення від проектного положення, які можуть впливати на безпеку руху поїздів. Важливо зазначити, що процес сканування є повністю безпечний для людини, адже всі вимірювання робляться дистанційно – геодезист не перебуває в зоні ймовірних ризиків, що актуально в умовах обмеженого простору або в умовах активного використання тунелю. Використання лазерного сканування підвищує ефективність моніторингу, забезпечуючи можливість порівнювати результати у динаміці, що створює умови для своєчасного прийняття рішень щодо технічного обслуговування і ремонту споруди.

Об'єкт дослідження. Об'єктом дослідження є 1765 метрів залізничного тунелю, розташованого у гірському масиві, який перебуває в експлуатації та піддається впливу різних природних і техногенних факторів, що можуть спричиняти його деформацію.

Предмет дослідження. Предметом дослідження є комплекс геодезичних робіт та оптимальні методи їх виконання під час моніторингу деформацій

залізничного тунелю із застосуванням технологій лазерного сканування. Дослідження охоплює вибір і використання сучасного геодезичного обладнання, методику збору та опрацювання зібраних даних, а також оцінку точності отриманих результатів.

Мета і завдання дослідження. Метою дослідження є підвищення ефективності та точності геодезичного моніторингу деформацій залізничного тунелю шляхом застосування технології лазерного сканування. Для досягнення цієї мети необхідно вирішити такі завдання:

- проаналізувати науково-методичні засади та нормативно-правові документи, що регламентують виконання геодезичного моніторингу інженерної споруди;
- розглянути принципи роботи та технічні характеристики сучасних сканувальних лазерних систем;
- провести польові роботи;
- виконати камеральні опрацювання та оцінити точність хмари точок;
- визначити характер і величину деформації конструкції тунелю.

Методи дослідження. У дослідженні використовувались наступні методи: геодезичні методи – для створення опорної мережі та забезпечення точності позиціонування сканів; лазерне сканування – для отримання високоточної тривимірної моделі тунелю та виявлення просторових деформацій; аналітичний метод – для опрацювання та узагальнення отриманих даних, визначення відхилень і оцінки точності вимірювань; комп’ютерне моделювання – для створення високоточних 2D креслень

Наукова новизна роботи полягає у застосуванні технологій лазерного сканування для комплексного моніторингу деформацій залізничного тунелю та створенні високоточних 2D креслень на основі хмари точок. У процесі дослідження було розроблено послідовність виконання геодезичних робіт із використанням сучасних геодезичних приладів та програмного забезпечення для опрацювання даних. Визначено оптимальні параметри зйомки, що забезпечують

міліметрову точність моделювання геометрії тунелю, а також доведено ефективність поєднання лазерного сканування з традиційними геодезичними методами при контролі технічного стану інженерних споруд.

Інформаційна база. Інформаційну базу роботи становить законодавчі, нормативно-правові, науково-технічні джерела, що регламентують виконання геодезичних і моніторингових робіт на інженерних спорудах. Основу складають законодавчі та нормативні акти України у сфері топографо-геодезичної діяльності, будівництва та технічного контролю, зокрема:

- Закон України «Про топографо-геодезичну та картографічну діяльність»;
- Постанова Кабінету Міністрів України «Про затвердження Порядку здійснення моніторингу технічного стану об'єктів будівництва»;
- Інструкція х проведення нівелювання I-IV класів (ГКІНП-03-01-09);
- ДСТУ 2229:2020 «Зйомка інженерних споруд методом лазерного сканування. Загальні умови».

Також використано технічний звіт та матеріали підприємства якому надавався проект, у яких відображено результати лазерного сканування залізничного тунелю, а також супровідні польові журнали, каталоги координат і результати камерального опрацювання даних.

Практичне значення роботи полягає у впровадженні технології лазерного сканування для підвищення точності та ефективності моніторингу залізничних тунелів. Запропонована методика дозволяє швидко отримувати достовірні просторові дані, виявляти деформації та створювати високоточні 2D креслення. Результати дослідження можуть бути використані геодезичними та проектними організаціями при виконанні робіт з контролю технічного стану інженерних споруд.

Ключові слова. Лазерне сканування, Геодезія, Деформація, Тунель, Тахеометр, Нівелір, AutoCAD, Тріангуляція, Полігонометрія.

РОЗДІЛ 1 ТЕОРЕТИКО-МЕТОДИЧНЕ ТА НОРМАТИВНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ЛАЗЕРНОГО СКАНУВАННЯ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ДЕФОРМАЦІЇ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТУНЕЛЮ

1.1 Науково-теоретичні засади застосування технології лазерного сканування для моніторингу деформації інженерних об'єктів

1.1.1 Принцип дії технології лазерного сканування

Лазерне сканування (Terrestrial Laser Scanning, TLS) – метод безконтактної просторової зйомки, який дозволяє отримувати «щільну хмару точок» місцевості чи поверхні об'єкта. Принцип дії роботи базується на вимірюванні відстані до поверхні за часом проходження лазерного імпульсу або змін у фазі сигналу, у поєднанні з кутовими обертаннями приладу (рис 1.1). Таким чином кожна точка отримує координати (X,Y,Z). [16]

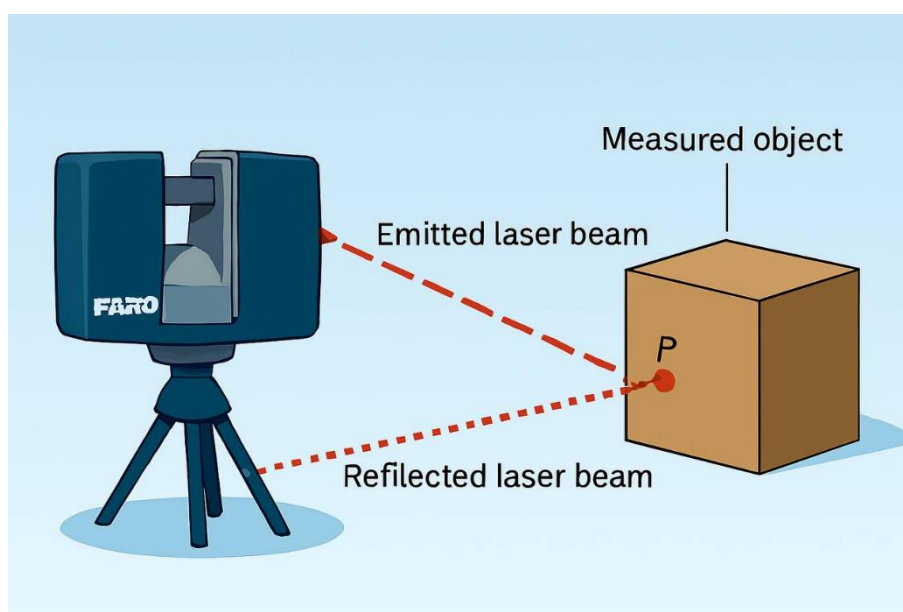


Рис. 1.1 Принцип роботи лазерного сканування

При скануванні тунельних споруд часто застосовують додаткові алгоритми для фільтрації шумів, вирівнювання сканів та корекцію похибок, а також побудову поперечних та повздовжніх розрізів хмари точок тунелю для визначення відхилень від номінального профілю чи зміщень оболонки. [11]

Також використовують методики, які виділяють нормальні площини до центральної осі тунелю й автоматично аналізують деформацію кожного перерізу. [13]

1.1.2 Переваги та можливості використання лазерного сканування для моніторингу деформацій

Лазерне сканування має низку суттєвих переваг над традиційними геодезичними методами знімання:

- висока точність і детальність – дозволяє збирати інформацію навіть з дрібних геометричних змін.
- швидкість збору даних – сучасні прилади дозволяють знімати мільйони точок в секунду, що у свою чергу дозволяє охоплювати великі ділянки зйомки.
- інформація на 360° - сканування покриває всю поверхню тунелю, а не окремі його елементи чи окремі точки
- інтеграція з іншими методами – лазерне сканування можна поєднувати з GNSS спостереженнями, тахеометрією та нівелюванням для підвищення надійності та достовірності інформації.

За результатами наукових публікацій [11], [12], ця технологія визнана однією з найкращих для оцінки стану тунелів, бо дозволяє одночасно знаходити навіть самі маленькі деформації та виконувати аналіз зміни форми перерізу.

1.1.3 Поєднання лазерного сканування з GNSS-спостереженнями, тахеометрією та нівелюванням

Щоб підвищити точність виконання лазерного сканування, його часто застосовують у поєднанні з іншими геодезичними методами.

У нашому випадку для прив'язки станцій сканування до певної системи координат, ми використовували GNSS-спостереження в режимі «Статика» на базових пунктах тунельної мережі. Камеральна робота була в Credo DAT,

координати пунктів геодезичної основи обчислені у Державній Геодезичній референцій системі координат УСК-2000 МСК-46 (Львівська область). [3], [4]

Додатково використовували тахеометричну зйомку контрольних точок, що дозволить уточнити положення марок в середині тунелю, і забезпечить коректну реєстрацію хмари точок. [1], [2]

За допомогою нівелювання III класу було визначено висоти пунктів геодезичної основи та знаків нівелірної мережі - у Балтійській системі висот 1977 року. [3], [4]

1.1.4 Вітчизняний та іноземний досвід застосування лазерного сканування

У багатьох країнах метод лазерного сканування вже є стандартом при моніторингу інженерних споруд.

Наприклад Li R. запропонував у своєму досліді метод поєднання GNSS-спостережень (PPP-режим) із скануванням для контролю за деформацією споруди. У Швейцарії при реконструкції Готтгардського тунелю сканування використовувалось для аналізу осідання обшивки та за формою кріплення кілець. Австрійська компанія використовувала лазерне сканування в тунелі Арльберг для точного виявлення деформацій до 3мм різниці. Японські вчені з Токійського університету вирішили поєднати лазерне сканування з термографічним аналізом, що дозволило виявити мікро тріщини в бетоні. [11], [12], [13], [14]

В Україні ця технологія починає активно використовуватися під час геодезичних робіт на об'єктах залізничної інфраструктури. Прикладом є компанія ТОВ «ОРДО», яка виконувала лазерне сканування тунельних споруд у гірських районах Карпат. Результат показав високу ефективність цієї технології при складних умовах. [10]

1.1.5 Практичні результати використання технології для моніторингу залізничного тунелю

У процесі роботи було знято 93 станцій сканування з інтервалом ± 25 метрів між ними. Для зшивання хмари точок використовувалось по три спільні марки між сусідніми станціями стояння, це забезпечило точність реєстрації в районі 3мм. [10]

Після опрацювання сканів в програмі Leica Cyclone Register 360 отримано єдину хмару точок тунелю, з якого в подальшому буде створено високоточні 2D-креслення, що являються кінцевим продуктом роботи.

Виконані роботи повністю відповідають вимогам ДСТУ Б В.2.1-30:2014 щодо вимірювання деформацій споруд. [9]

1.2 Нормативно-правове забезпечення застосування технології лазерного сканування для моніторингу деформації залізничного тунелю

1.2.1 Законодавча база

На території України виконання геодезичних, картографічних і моніторингових робіт регламентується низкою законодавчих актів, які визначають правові, організаційні та технічні засади до їх виконання. Ключовим документом є Закон України «Про топографо-геодезичну і картографічну діяльність», який описує правові засади діяльності у сфері геодезії та картографії, встановлює стандарти точності, порядок створення та використання геодезичних мереж, а також обов'язковість використання єдиної системи координат на всій території країни. [1]

Відповідно до цього закону усі підприємства, установи та організації зобов'язуються незалежно від форми власності, проводити топографо-геодезичні роботи відповідно до затверджених стандартів, інструкцій та технічних умов. Цей документ встановлює порядок до виконання лазерного

сканування, GNSS-спостережень, нівелювання та тахеометричних робіт під час моніторингу деформацій інженерних споруд.

Регулювання геодезичних робіт у правовому контексті будівництва, реконструкції чи моніторингу об'єктів інфраструктури регулюється Законом України «Про регулювання містобудівної діяльності», який зазначає порядок проведення інженерно-геодезичних вишукувань споруд.

Важливу роль у контексті безпечного виконання польових робіт відіграє Закон України «Про охорону праці», який дає загальні вимоги до безпечної роботи під час інженерно-геодезичних робіт, у тому числі в умовах обмеженого простору, таких як залізничні тунелі.

1.2.2 Нормативно-технічні документи

Проведення геодезичних і топографічних робіт керується чинними нормативно-технічними актами. Ці акти встановлюють детальні вимоги щодо геодезичної основи, точності вимірювання і процедур контролю.

Базовим документом у цій сфері є Постанова Кабінету Міністрів України «Деякі питання застосування геодезичної системи координат», він закріплює використання національної системи координат УСК-2000. [2]

Положення про створення Державної геодезичної мережі України визначають її структуру та правила створення пунктів. Ці пункти в подальшому будуть використовуватися як базова опора при GNSS-спостереженнях, при нівелюванні та при теодолітних ходах. [3]

Під час моніторингу споруд «Інструкція з обстеження та оновлення пунктів Державної геодезичної мережі України» регламентує порядок перевірки стабільності пунктів, які будуть використовувати. [4]

Вимоги до центрів пунктів та їх конструкцій встановленні «Інструкцією про типи центрів геодезичних пунктів». Саме ці типи центрів забезпечують довготривалу стабільність геодезичній мережі, що є важливим при багаторічному спостереженні за станом інженерних споруд. [5]

Створення полігонометричних ходів є основною складовою геодезичної основи, яка забезпечує передачу координат від пунктів державної геодезичної мережі до наших станцій вимірювання. В Україні виконання таких робіт регламентується нормативно-технічними документами один з яких «Інструкція з топографічного знімання у масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 та 1:500 (ГКНТА-2.04-02-98). [17]

У цій інструкції визначено порядок створення опорних мереж, точність, допуски на вимірювання кутів та ліній, допустимі нев'язки в полігонометричних ходах. При побудові полігонометричних ходів застосовуються ті ж самі принципи точності, що і при створенні мережі I, II, III, IV класу, які визначені «Основним положенням створення Державної геодезичної мережі України». [3]

Полігонометричне вимірювання в межах дипломної роботи створювалося від пунктів GNSS-спостереження до місць встановлення лазерного сканера, це дає нам правильну просторову орієнтацію моделі до відповідної системи координат.

При визначені висот і моніторингу вертикальних зсувів застосовуються дві основні інструкції: ГКИНП-13 та «Інструкція по нівелюванню I, II, III і IV класу. Вони розписують процедуру нівелювання та допустимі похибки. А «Інструкція зі складання каталогів висот пунктів нівелювання» визначає камеральне опрацювання результатів вимірювання, що забезпечує правильність формування вихідних даних для подальшого аналізу. [6] [7] [8]

«Інструкція про порядок контролю і прийняття топографо-геодезичних та картографічних робіт» передбачає процедуру перевірки точності, оформлення технічної документації та передачу результатів замовнику. [9]

1.2.3 Вимоги до геодезичного моніторингу споруд

ДСТУ Б В2.1-30:2014 «Основи та фундаменти будівель і споруд. Методи вимірювання деформацій.» встановлює вимоги до проведення геодезичного моніторингу деформацій. Він визначає порядок вимірювання горизонтальних і

вертикальних переміщень, нахилів, осідань та зсувів будівельних конструкцій під час експлуатації або реконструкції. [18]

Згідно цього стандарту, до спостережень можуть залучатися класичні геодезичні методи (нівелювання, тахеометрія), а також вже і сучасні технології, такі як: супутникові спостереження (GNSS RTK/PPK/PPP) та лазерне сканування. Він регламентує мінімальні інтервали спостережень, вимоги до точності вимірювання і порядок опрацювання результатів. [18]

1.2.4 Вимоги техніки безпеки під час виконання робіт

Під час проведення польових геодезичних робіт у підземних спорудах та на території залізничного руху необхідно дотримуватися правил безпеки праці, які встановлені в НПАОП 74.2-19.01.2015.

Під час виконання робіт необхідно забезпечити стійке розташування приладів, правильне заземлення обладнання, а також обмежити доступ сторонніх осіб у зоні вимірювання. Особливу увагу слід приділяти освітленню та вентиляції тунельного простору. [19]

РОЗДІЛ 2 ГЕОДЕЗИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА ПОЛЬОВІ РОБОТИ ПРИ МОНІТОРИНГУ ДЕФОРМАЦІЇ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТУНЕЛЮ

2.1 Структура геодезичної основи

Геодезична основа району робіт складається із:

- геодезична основа для будівництва тунелю;
- базові референсні станції ZakPOS;
- лінії нівелювання I класу Державної геодезичної мережі

Координати пунктів геодезичної основи обчислені у Державній геодезичній референційній системи координат УСК-2000 МСК-46 (Львівська область), а висоти пунктів геодезичної та знаків нівелірної мережі – у Балтійській системі висот 1977 року.

Прямокутні координати всіх пунктів обчислені у проекції Гауса-Крюгера.

2.2 Геодезична основа для будівництва тунелю

У 2012 році ТОВ «ОРДО» (м. Жовква) було виконано ряд інженерно-геодезичних вишукувань зі сторони геодезичної основи для будівництва залізничного тунелю. В результаті проведення робіт з обох сторін виходу з тунелю було побудовано тенульну триангуляцію II класу, по 3 пункти з кожної сторони. Також по пунктах цієї мережі було проведено нівелірний хід II класу. Замовником було надано вихідні матеріали, а саме: «Технічний звіт про виконання інженерно-геодезичних вишукувань «Створення геодезичної основи під будівництво тунелю в районі станції Львівської залізниці» Львів – 2012» (надалі звіт). [3], [4], [6]

Пункти тунельної триангуляції II класу мають бути використані для розвитку мережі тунельної полігонометрії. Схема тунельної триангуляції II класу для будівництва тунелю наведена нижче (рис 2.1). [3], [17]

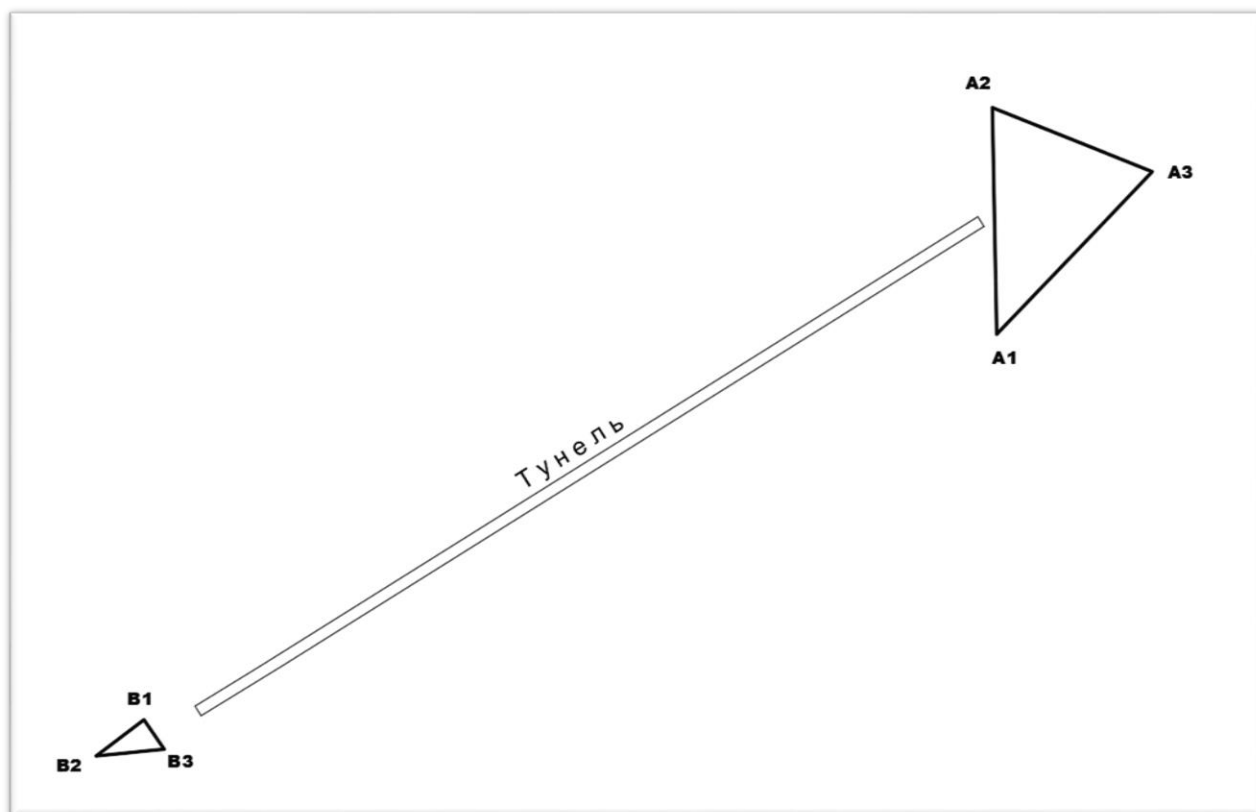


Рис. 2.1 Схема тунельної триангуляції II класу для будівництва залізничного тунелю

2.3 Лінії нівелювання I класу Державної геодезичної мережі та нівелювання II класу

Згідно вихідних даних Звіту в районі виконання робіт знаходяться 2 пункти I класу нівелювання, це стінна марка №2128 та стінний репер №3357 на які опирається нівелірний хід II класу по пунктам тунельної триангуляції II класу.

2.4 Обстеження пунктів геодезичної основи для будівництва

Пошук пунктів на місцевості виконувався за допомогою геодезичного GNSS-приймача, методом «Виносу в натуру» точки за відомими координатами.

Польові роботи з обстеження геодезичних пунктів включали такі процеси:

- пошук пунктів на місцевості;
- обстеження стану центрів та встановлення придатності їх для подальшого використання;

- забезпечення взаємної видимості між пунктами (очистки від дерев та кущів);

Пункт вважався втраченим, якщо були присутні наявні ознаки знищення або пошкодження його центрів.

Із шести пунктів тунельної триангуляції, придатними для подальшого використання виявились п'ять. Центр пункту А2 зі східної сторони тунелю було знищено (рис 2.3). Всі інші пункти добре збереглися і були використані в подальшому. Загальний вигляд пунктів тунельної триангуляції наведено нижче (рис 2.2).



Рис. 2.2 Загальний вигляд вцілілого пункту тунельної триангуляції



Рис. 2.3 Загальний вигляд пошкодженого пункту тунельної тріангуляції

Оскільки знищений пункт А2 мав важливе значення для побудови тунельної полігонометрії, було вирішено створити новий пункт поблизу нього і визначити його координати методом супутникових спостережень. На відстані близько трьох метрів від старого пункту А2 було виявлено раніше забетонувана залізнична рейка, яка мала кернення, тому було вирішено використати саме її як новий пункт і дати йому ім'я Rp-A2. Загальний вигляд нового пункту Rp-A2 наведено нижче (рис 2.4).



Рис. 2.4 Загальний вигляд нового пункту Rp-A2

Зважаючи на те, що будівництво тунелю велось вибохово-буровим методом, а пункти розташовані в безпосередній близькості до місця проведення будівельних робіт, було прийнято рішення перевірити положення пунктів в плані, методом супутникових спостережень.

2.5 Обстеження знаків нівелірної мережі

Польове обстеження нівелірних знаків виконувалися за матеріалами зі Звіту. В результаті обстеження було виявлено:

- Ст. Rp №3357, який знаходиться в підпірній стіні, на відстані 10м від східного порталу старого залізничного тунелю на висоті 1м над землею, у задовільному стані (рис 2.5);
- Ст. Марка №2128, яка розташована в західному порталі старого залізничного тунелю на висоті 2,5м над землею, у задовільному стані (рис 2.6);



Рис. 2.5 Загальний вигляд Ст. Rp №3357



Рис. 2.6 Загальний вигляд Ст. Марки №2128

Після аналізу розміщення висотних пунктів, було прийнято рішення використати обидва нівелірних знаки та пункт тунельної тріангуляції В2, який має відмітки II класу.

2.6 Супутникові геодезичні спостереження на пунктах тунельної тріангуляції

2.6.1 Супутникові геодезичні приймачі

Приймачі повинні забезпечувати приймання сигналів L1 C/A коду та L/2 P коди та вимірювати псевдо віддалі до супутників кодовим та фазовим методом.

Табл. 2.1 Основні вимоги до супутникових приймачів

Тип приймачів	Число каналів не менше	Частоти	Точність
Двочастотні	24	L1/L2	$5\text{мм}+1*10^{-6}D$

Для виконання супутникових геодезичних спостережень, використовувався двочастотний GNSS приймач фірми Alpha-Geo NetBOX1, він задовольняє необхідними характеристикам точності функціоналу.

Табл. 2.2 Характеристики приймача Alpha-Geo NetBOX1

Продуктивність	
Кількість каналів	432
GPS	L1/L2/L5
ГЛОНАСС	L1/L2
BeiDou	B1/B2/B3
Galileo	E1/E5A/E5B
QZSS	L1/L2/L5
SBAS	L1
Точність	
Статика	По горизонталі: $2,5\text{ мм}+1\text{ppm}$
	По вертикалі: $5\text{ мм}+1\text{ppm}$
RTK	По горизонталі: $8\text{ мм}+1\text{стор./хв}$
	По вертикалі: $15\text{ мм}+1\text{ppm}$

2.6.2 Виконання супутникових геодезичних спостережень на пунктах тунельної тріангуляції

Для визначення координат пунктів, використовувався статичний супутниковий метод.

Точність визначення векторів базових ліній залежить від кількості і геометричного розташування супутників, що одночасно спостерігаються з кожного пункту протягом сеансу спостережень, тривалості періоду спостереження, залишкових впливів іоносферної і тропосферної рефракції, довжини базових ліній та технічних характеристик приймачів. [15]

При супутникових спостереженнях на пунктах тунельної тріангуляції використовувались базисні референсні станції української постійно діючої мережі спостережень глобальних навігаційних супутникових систем ZakPOS. [20]

Перед початком спостережень виконувались перевірки роботи GNSS-приймачів, основні з яких:

- контрольне тестування приймача;
- перевірка роботи оптичного центриру;
- на початку кожного сеансу спостережень виконувалось центрування та вимірювання висоти антени;

Тривалість спостережень на кожному пункті була не менше 1 години 20 хвилин. Всі дані спостережень були записані в пам'ять приладу. За даними польових обстежень було складено таблицю 2.3.

Табл. 2.3 Загальні відомості GNSS спостережень

№ з/п	GPS ID	Назва пункту	Клас пункту	Спостереження	
				Початок, Дата / час	Тривалість
1	hus1	Хуст	УПМ ГНСС	25.04.2025 / 10:09:42	06:35:00
				26.04.2025 / 9:44:42	05:00:00
2	miz2	Міжгір'я	УПМ ГНСС	25.04.2025 / 10:09:42	06:35:00
				26.04.2025 / 9:44:42	05:00:00
3	tuk2	Мукачєво	УПМ ГНСС	25.04.2025 / 10:09:42	06:35:00
				26.04.2025 / 9:44:42	05:00:00
4	rah1	Рахів	УПМ ГНСС	25.04.2025 / 10:09:42	06:35:00
				26.04.2025 / 9:44:42	05:00:00
5	volo	Волосянка	УПМ ГНСС	25.04.2025 / 10:09:42	06:35:00
				26.04.2025 / 9:44:42	05:00:00
6	A1	A1	тун.тр. 2 класу	26.04.2025 / 9:57:52	01:33:51
7	RP-A2	Rp A2	тун. полігоном.	25.04.2025 / 10:16:19	02:20:44
8	A3	A3	тун.тр. 2 класу	25.04.2025 / 12:55:12	01:30:26
9	B1	B1	тун.тр. 2 класу	26.04.2025 / 12:20:14	01:57:36
10	B2	B2	тун.тр. 2 класу	26.04.2025 / 12:22:41	01:49:02
11	B3	B3	тун.тр. 2 класу	25.04.2025 / 15:11:25	01:24:00

2.7 Вимірювання кутів і ліній на пунктах тунельної полігонометрії

Для задоволення потреб визначення геометричних параметрів елементів тунелю по всій його довжині, було прийнято рішення прокласти тунельну полігонометрію з відстанню між пунктами близько 200 м. Пункти закладались в тіло облицювання тунелю на рівні щебеневого баласту та на безпечній відстані габариту потягу. [3], [17]

Пункт тунельної полігонометрії являє собою арматуру діаметром 12 мм, забурено в тіло облицювання тунелю на глибину 5-7 см та забетоновану до рівня верху баласту. Верхня частина арматури підноситься вище бетону 1-2 см, має зашліфовані краї та кернення для точного центрування інструменту. Пункти були закладені таким чином щоб по ним можна було прокласти нівелірний хід III класу. Схема закладки та загальний вигляд пункту показаний на рис. 2.7 та на рис. 2.8 відповідно. [5], [6]

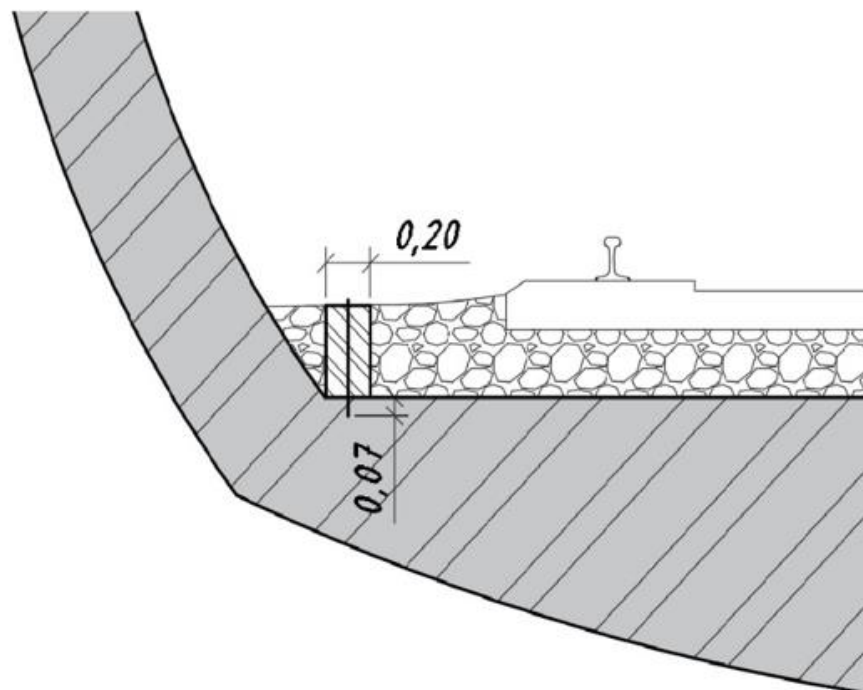


Рис. 2.7 Схема закладки пункту тунельної полігонометрії



Рис. 2.8 Загальний вигляд пункту тунельної полігонометрії

Було закладено 10 пунктів тунельної полігонометрії в межах тунелю та по одному пункту з обох боків тунелю. Пункти поза тунелем є тимчасовими на період проведення робіт. Схема мережі тунельної полігонометрії наведена на рис. 2.9.

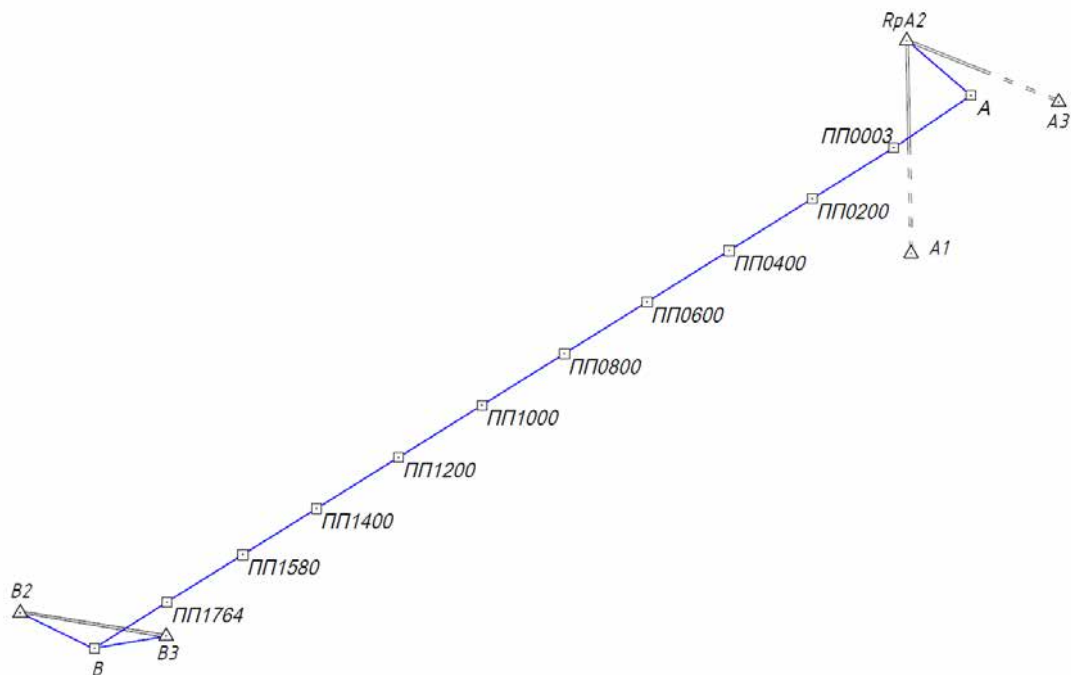


Рис. 2.9 Схема мережі тунельної полігонометрії

Для визначення планового положення пунктів тунельної полігонометрії було виконано лінійно-кутові вимірювання електронним роботизованим тахеометром GeoMAX Zoom 80 R1'' A10 (рис 2.10), з наступними технічними характеристиками:

- Точність вимірювання кута = 1'';
- Точність вимірювання довжин ліній на відбивач = 1 мм + 2 ppm;



Рис. 2.10 Роботизований тахеометр GeoMAX Zoom 80 R1'' A10

Вимірювання кутів та довжин ліній на пунктах тунельної полігонометрії виконувалось за трьох штативною системою. Точність центрування приладу та візирних цілей виконувалось до 1 мм. [18], [23]

Кути вимірювались трьома прийомами.

При вимірюванні довжин сторін для введення поправок за метеорологічні умови визначалась температура повітря з точністю до 1 °С та тиск з точністю 5 мм рт.ст. [9]

При вимірюванні довжин ліній та кутів електронним тахеометром керувались відповідними інструкціями з експлуатації даного приладу та прикладного програмного забезпечення.

2.8 Визначення початкового положення пунктів спостереження за деформацією окремих елементів тунелю

Для визначення геометричних переміщень заданих ділянок тунелю було закладено шість пунктів спостереження за деформацією в верхній частині тунелю. Пункти являють собою призму зафіксовану до металевої пластини, яка в свою чергу кріпиться дюбелем до облицювання тунелю. Схема кріплення пунктів спостереження наведено на рис 2.11, а загальний вигляд на рис 2.12.

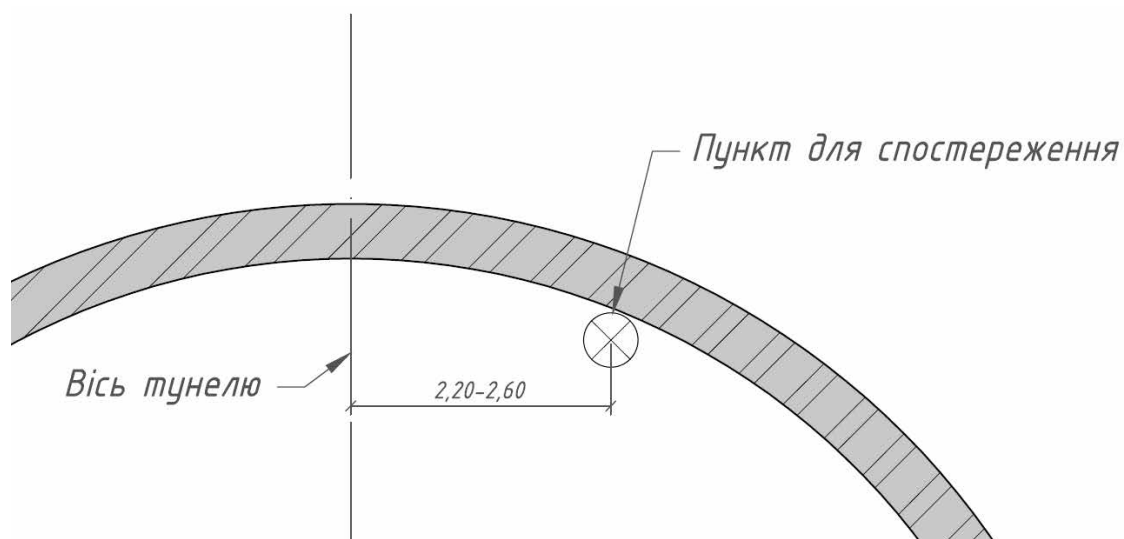


Рис. 2.11 Схема кріплення пункту спостереження за деформацією



Рис. 2.12 Загальний вигляд пункту спостереження за деформацією

Пункти спостереження були закладені по обидва боки від деформаційних швів між кільцями 121/122, 122/123, 123/124 на відстані 70-90 см від деформаційного шву в обидва боки. Вони отримали назви DEF-1, DEF-2, DEF-3, DEF-4, DEF-5, DEF-6 по збільшенню пікетажу.

Визначення початкового положення пунктів спостереження за деформацією виконано спираючись на пункти тунельної полігонометрії методом лінійно-кутових вимірювань. Вихідними пунктами прийнято ПП1200, ПП1400 та ПП1580.

2.9 Нівелювання III класу по пунктах тунельної полігонометрії

Мережа нівелірних ходів III класу проходить у гірській місцевості на границі Львівської та Закарпатської областей. За вихідні пункти прийнято трубний репер тунельної триангуляції В2, стінна марка №2128 та стінний репер №3357. Загальна довжина подвійного ходу складає 4,52 км. Схема мережі нівелірних ходів показана на рис 2.13.

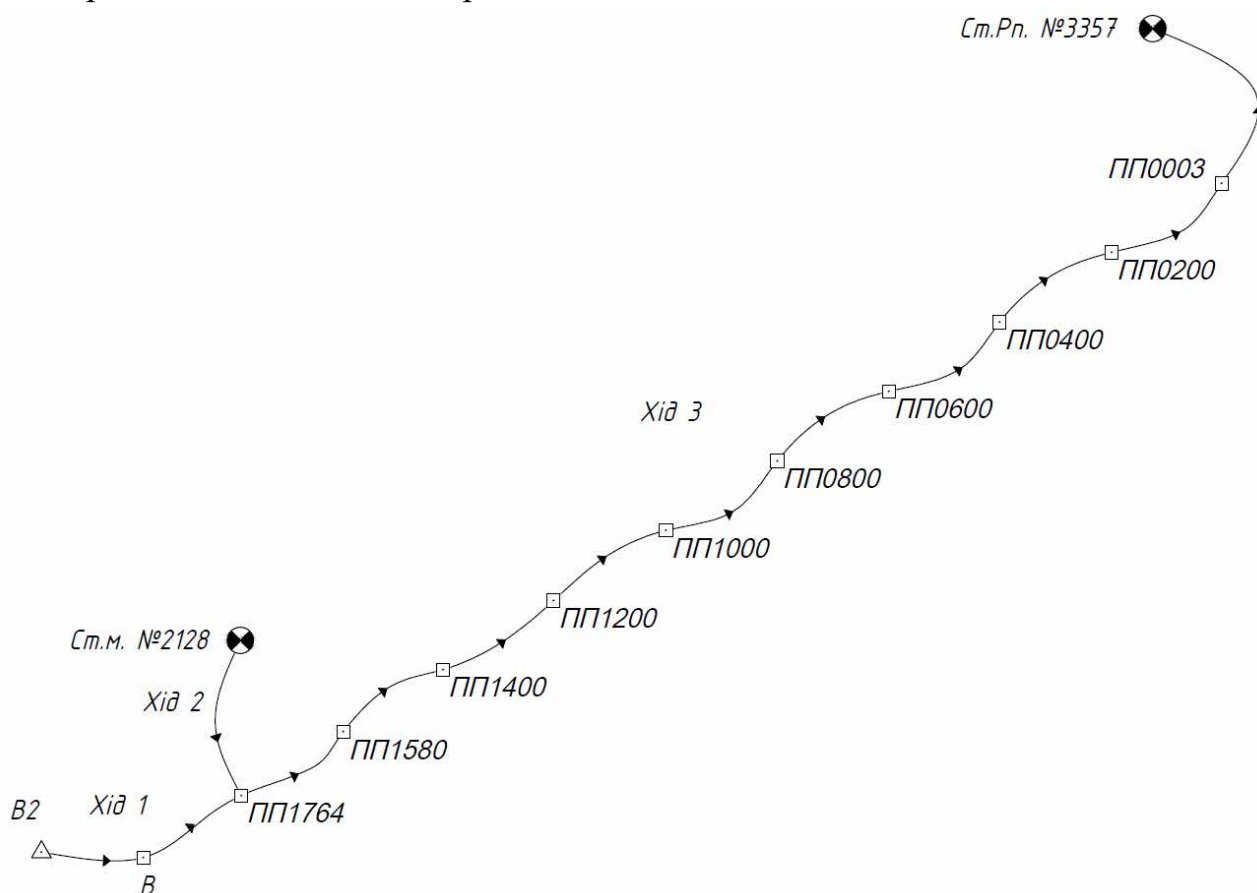


Рис. 2.13 Схема мережі нівелірних ходів

Для нівелювання використовувався цифровий нівелір Sokkia SDL 30 №11048 (рис 2.14), обладнаний круглим рівнем та компенсатором з магнітним демпфером із діапазоном роботи 15'. [24]



Рис. 2.14 Цифровий нівелір Sokkia SDL 30

Прилад працює за принципом опрацювання цифрового зображення штрих-кової рейки для автоматичної реєстрації відліків. Нівелювання виконувалось за допомогою комплекту 2,4 метрових штрих-кодових фібергласових рейок. Довжина променя візувалась від 7 до 50 м в залежності від рельєфу. Різниця плеч знаходилась в межах 0,1-2 м. Мінімальна висота променя над поверхнею землі була не менше 0,3 м. [24]

Цифровий нівелір Sokkia SDL 30 по своїм технічним характеристикам відповідає вимогам інструкції щодо приладів, які мають використовуватися при нівелюванні III класу. Середня квадратична похибка виміру перевищень на 1 км подвійного ходу на фібергласову кодову рейку становить 1мм.

Перед початком роботи, згідно інструкції по нівелюванню [7], проводились перевірки нівеліра Sokkia SDL 30:

- Перевірка круглого рівня;
- Перевірка головної умови – визначення величини кута i , який автоматично зберігається в пам'яті приладу, а електронні відліки по рейці відповідно

корегуються за його величину. В нашому випадку величина кута i становила 2'';

Методика і послідовність спостережень на станції відповідає методиці, приведений в «Інструкція по нівелювання I, II, III и IV класа. – М.: Недра, 1990».
[7]

Оскільки фібергласові кодові рейки не мають «червоної» сторони, вимірювання на станції проводилися при двох горизонтах по наступній методиці:

- Наведення і взяття відліку по задній рейці;
- Наведення і взяття відліку по передній рейці;

Під час нівелювання оператор слідкував за дотриманням наступних допусків:

1. Накопичення різниці плеч – 5,00 м.
2. Максимальна віддаль до рейки – 80,00 м.
3. Мінімальна висота променя над поверхнею землі – 0,30 м.
4. Розходження різниці перевищень при двох горизонтах на станції – 0,003 м.

У випадку коли різниця перевищень на станції була більше 3мм, робилися додаткові вимірювання.

2.10 Планово висотна зйомка елементів тунелю методом лазерного сканування

2.10.1 Технічні характеристики приладу

Під час проведення польових робіт, лазерне сканування виконувалось сканером Leica Scan Station P20 (рис 2.15).

Leica Scan Station P20 – імпульсний, високошвидкісний лазерний сканер з двохосьовим компенсатором. Поєднання вдосконаленої імпульсної технології вимірювань і сучасної системи цифрування сигналу WFD забезпечує надзвичайну високу швидкість сканування – до 1 мільйона точок за секунду, при цьому зберігаючи високу точність на всьому діапазоні відстаней. Максимальна

дальність вимірювання досягає 120 метрів, навіть під час роботи з об'єктами, що мають низьку відбивну здатність. [21]



Рис. 2.15 Лазерний сканер Leica Scan Station P20

Прилад поєднує субміліметрову точність вимірювання відстаней і найкращу у своєму класі кутову точність (8''), а завдяки двохосьовому компенсатору забезпечує отримання горизонтальних даних. Це робить сканер унікальним серед високоточних і швидкодіючих сканерів. [21]

Ще однією перевагою є широкий діапазон робочих температур – від -20°C до $+50^{\circ}\text{C}$, а також ступінь захисту IP54, що гарантує надійність роботи приладу в різних кліматичних умовах і під час впливу пилу чи вологи, без втрати якості результатів сканування. [21]

Особливістю Leica P20 є функція «Перевірка і калібрування», яка дозволяє користувачеві самостійно проводити перевірку та калібрування основних параметрів – далекоміра, кутових вимірювань і компенсатора – без звернення до сервісного центру. Це забезпечує впевненість у стабільній точності приладу та відповідності його характеристик заявленим виробником. [21]

2.10.2 Польові роботи

Роботи по скануванню проводилися паралельно осі тунелю. Під час сканування використовувалась роздільна здатність сканування 6.3мм./10м

Точки (станції) сканування встановлювались так, щоб між ними було від 30 відсотків перекриття між сусідніми станціями. Крок між станціями 25 метрів. На кожній станції використовувалось мінімум три марки та (або) 3 сфери для подальшого точного зшивання сканів в єдину хмару точок (рис 2.16). Кожна станція сканування має мінімум 3 спільних марки із сусідньою станцією. Марки додатково перескановувались у високій якості із автоматичним розпізнанням їх сканером для отримання максимально точного результату при реєстрації.

Після проведення польових робіт було отримано 93 станції (скани).

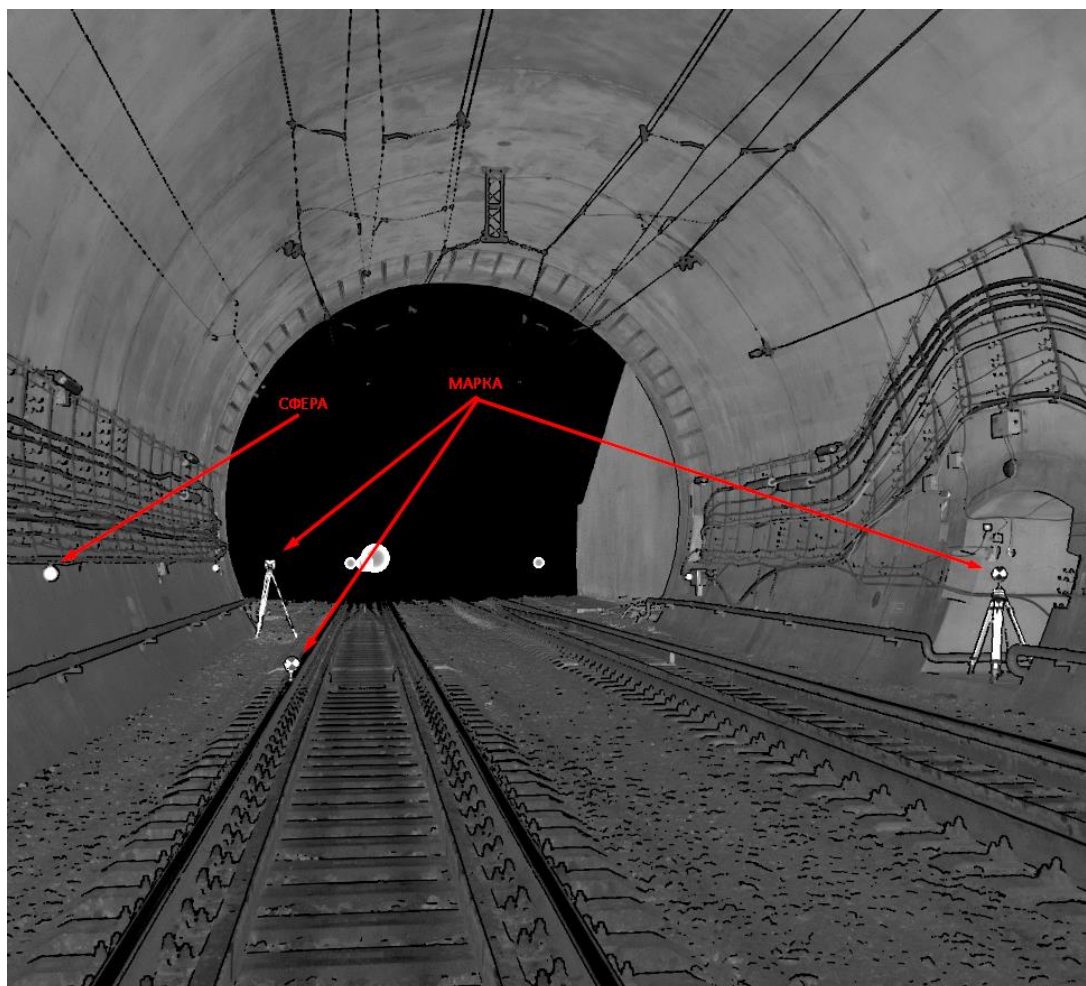


Рис. 2.16 Приклад встановлення марок

РОЗДІЛ 3 КАМЕРАЛЬНІ РОБОТИ З ОПРАЦЮВАННЯ ГЕОДЕЗИЧНИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ

3.1 Опрацювання супутникових геодезичних спостережень

За вихідні дані було використано п'ять базисних референсних GNSS станцій від УМП ГНСС ZakPOS.

Перед початком виконання опрацювання, всі результати спостережень з приймачів GNSS, які мають внутрішні формати файлу приймача, конвертувались в файли RINEX-формату.

Опрацювання результатів спостережень з GNSS-приймачів виконувались на програмному забезпеченні «Trimble Business Center» від компанії Trimble.

При дешифруванні GNSS спостережень використовувалась Державна геодезична референсна система координат УКС-2000 МСК-46 (Львівська область).

Результати опрацювання та вирівнювання GNSS спостережень наведені в таблиці 3.1

Табл. 3.1 Результати вирівнювання GNSS мережі

Назва пункту	Координати та їх похибки, м				Абс. похибка Δf
	Y	ΔY	X	ΔX	
A3	811,405	0.005	3461,082	0.006	0.008
B3	815,692	0.004	2354,561	0.005	0.006
Rp A2	503,964	0.006	3583,484	0.009	0.011
A1	512.296	0.010	3150.679	0.017	0.020
B1	876.900	0.006	2411.857	0.009	0.011
B2	785.396	0.008	2341.284	0.011	0.014

3.2 Порівняльний аналіз результатів GNSS спостережень та старих даних тунельної тріангуляції

Так як будівництво залізничного тунелю проводилось вибухо-буровим методом, це могло вплинути на планове положення пунктів вихідної тунельної

триангуляції, які розташовані найближче до місця проведення робіт. Тому для контролю положення вихідних пунктів виконано GNSS спостереження на цих пунктах та порівняльний аналіз їх з тунельної триангуляції зі «Звіту», результати наведено в таблиці 3.2

Табл. 3.2 Порівняння вихідних та визначених координат пунктів

Назва пункту	Координати, м				Переміщення, м		
	тунельна триангуляція 2012 р.		GNSS спостереження 2025 р.				
	X	Y	X	Y	ΔX	ΔY	Δf
A1	3150.637	512.302	3150.679	512.295	+0.042	-0.007	0.043
A3	3461.084	811.405	3461.082	811.405	-0.002	± 0.000	0.002
B1	2411.885	876.907	2411.857	876.900	+0.028	+0.007	0.029
B2	2341.303	785.383	2341.284	785.396	-0.019	+0.013	0.023
B3	2354.529	915.716	2354.561	915.692	+0.032	-0.024	0.040

Порівнявши координати тунельної триангуляції зі «Звіту» за 2012р. та GNSS спостережень 2025р. видно, що пункти А1, В1, В2 та В3 змінили своє місце положення в плані більше ніж на 20мм, а деякі навіть 40мм (пункти розташовані найближче до місця проведення будівельних робіт), тому в подальшому опрацюванні тунельної полігонометрії доцільно використовувати нові значення планових координат цих пунктів. Пункт А3 має незначні відмінності від попередніх координат, а саме 2мм (він розташований на максимальному віддалені від місця робіт і тому він не зазнав впливу від вибухово-бурових робіт), тому було використані старі координати цього пункту.

3.3 Опрацювання польових вимірювань та вирівнювання мережі тунельної полігонометрії

3.3.1 Попередні опрацювання лінійно-кутових вимірювань

Перед початком вирівнювання ходу тунельної полігонометрії, було виконано попередні опрацювання лінійно-кутових вимірювань. Вона складалась з наступних етапів:

- визначення максимального відхилення кутових вимірів по напрямках в прийомах;
- визначення середнього значення напрямків кутових вимірів;
- визначення максимального відхилення вимірних горизонтальних прокладень по напрямках в прийомах;
- визначення середнього значення довжин горизонтальних прокладень в прийомах;
- визначення горизонтального прокладення з врахуванням поправок за редукцію на еліпсоїді та площину;

На основі отриманих результатів було складено таблицю 3.3 та 3.4, які наведені нижче.

Табл. 3.3 Таблиця зведених результатів виміряних кутів тунельної полігонометрії

Станція	Напрямок	Виміряні напрямки			Δ тах	Середнє значення
		Приєм І	Приєм ІІ	Приєм ІІІ		
1	2	3	4	5	6	7
B2	B3	0° 00' 00''	0° 00' 00''	0° 00' 00''	00''	0° 00' 00.0''
	B	12° 39' 59''	12° 39' 57''	12° 39' 58''	02''	12° 39' 58.0''
B3	B	0° 00' 00''	0° 00' 00''	0° 00' 00''	00''	0° 00' 00.0''
	B2	7° 26' 33''	7° 26' 32''	7° 26' 32''	01''	7° 26' 32.3''
B	B3	0° 00' 00''	0° 00' 00''	0° 00' 00''	00''	0° 00' 00.0''
	B2	200° 06' 25''	200° 06' 26''	200° 06' 22''	04''	200° 06' 24.3''
	ПП1764	340° 50' 27''	340° 50' 22''	340° 50' 26''	05''	340° 50' 25.0''
ПП1764	B	0° 00' 00''	0° 00' 00''	0° 00' 00''	00''	0° 00' 00.0''
	ПП1580	180° 23' 53''	180° 23' 51''	180° 23' 50''	03''	180° 23' 51.3''
ПП1580	ПП1764	0° 00' 00''	0° 00' 00''	0° 00' 00''	00''	0° 00' 00''
	ПП1400	180° 01' 28''	180° 01' 33''	180° 01' 33''	05''	180° 01' 31.3''
ПП1400	ПП1580	0° 00' 00''	0° 00' 00''	0° 00' 00''	00''	0° 00' 00.0''
	ПП1200	179° 58' 51''	179° 58' 55''	179° 58' 55''	04''	179° 58' 52.3''
ПП1200	ПП1400	0° 00' 00''	0° 00' 00''	0° 00' 00''	00''	0° 00' 00''
	ПП1000	179° 59' 32''	179° 59' 32''	179° 59' 32''	00''	179° 59' 32.0''
ПП1000	ПП1200	0° 00' 00''	0° 00' 00''	0° 00' 00''	00''	0° 00' 00''
	ПП0800	180° 01' 09''	180° 01' 10''	180° 01' 09''	01''	180° 01' 09.3''
ПП0800	ПП1000	0° 00' 00''	0° 00' 00''	0° 00' 00''	00''	0° 00' 00''
	ПП0600	179° 59' 22''	179° 59' 22''	179° 59' 21''	01''	179° 59' 21.7''
ПП0600	ПП0800	0° 00' 00''	0° 00' 00''	0° 00' 00''	00''	0° 00' 00''
	ПП0400	179° 59' 28''	179° 59' 30''	179° 59' 27''	03''	179° 59' 28.3''
ПП0400	ПП0800	0° 00' 00''	0° 00' 00''	0° 00' 00''	00''	0° 00' 00''
	ПП0200	180° 00' 14''	180° 00' 15''	180° 00' 16''	02''	180° 00' 15.0''
ПП0200	ПП0400	0° 00' 00''	0° 00' 00''	0° 00' 00''	00''	0° 00' 00''
	ПП0003	180° 01' 00''	180° 00' 59''	180° 01' 01''	02''	180° 01' 00.0''
ПП0003	ПП0200	0° 00' 00''	0° 00' 00''	0° 00' 00''	00''	0° 00' 00.0''
	A	177° 51' 59''	177° 52' 01''	177° 51' 57''	04''	177° 51' 59.0''
A	ПП0003	0° 00' 00''	0° 00' 00''	0° 00' 00''	00''	0° 00' 00''
	Rp-A2	74° 50' 47''	74° 50' 48''	74° 50' 44''	04''	74° 50' 46.3''
Rp A2	A	0° 00' 00''	0° 00' 00''	0° 00' 00''	00''	0° 00' 00.0''
	A1	48° 10' 33''	48° 10' 33''	48° 10' 30''	03''	48° 10' 32.0''
	A3	340° 59' 04''	340° 59' 07''	340° 59' 02''	05''	340° 59' 04.3''

Табл. 3.4 Таблиця зведених результатів виміряних сторін тунельної полігонометрії

Станція	Напрямок	Виміряні горизонтальне прокладення (HD), м			ΔHD, мм	Середнє значення HD, м	HD з поправками за редукцію на еліпсоїд та площину, м
		Приєм I	Приєм II	Приєм III			
1	2	3	4	5	6	7	8
B2	B3	130.986	130.986	130.986	0	130.986	130.974
	B	49.350	49.350	49.351	1	49.350	49.345
B3	B	83.537	83.537	83.537	0	83.537	83.529
	B2	130.987	130.986	130.986	1	130.986	130.974
B	B3	83.539	83.539	83.539	0	83.539	83.531
	B2	49.349	49.349	49.349	0	49.349	49.344
	ПП1764	176.619	176.618	176.619	1	176.619	176.603
ПП1764	B	176.619	176.619	176.619	0	176.619	176.603
	ПП1580	183.370	183.370	183.370	0	183.370	183.353
ПП1580	ПП1764	183.370	183.370	183.370	0	183.370	183.353
	ПП1400	178.797	178.797	178.797	0	178.797	178.780
ПП1400	ПП1580	178.797	178.797	178.797	0	178.797	178.780
	ПП1200	198.692	198.692	198.692	0	198.692	198.676
ПП1200	ПП1400	198.691	198.691	198.691	0	198.691	198.675
	ПП1000	201.838	201.838	201.838	0	201.838	201.819
ПП1000	ПП1200	201.839	201.838	201.839	1	201.839	201.820
	ПП0800	199.958	199.955	199.958	3	199.957	199.938
ПП0800	ПП1000	199.955	199.956	199.956	1	199.956	199.937
	ПП0600	200.403	200.403	200.403	0	200.403	200.384
ПП0600	ПП0800	200.403	200.403	200.403	0	200.403	200.384
	ПП0400	198.920	198.920	198.920	0	198.920	198.902
ПП0400	ПП0800	198.921	198.921	198.921	0	198.921	198.903
	ПП0200	201.078	201.078	201.078	0	201.078	201.060
ПП0200	ПП0400	201.077	201.077	201.076	1	201.077	201.059
	ПП0003	197.663	197.663	197.663	0	197.663	197.645
ПП0003	ПП0200	197.663	197.663	197.663	0	197.663	197.645
	A	191.582	191.583	191.583	0	191.583	191.565
A	ПП0003	191.582	191.582	191.582	0	191.582	191.564
	Rp-A2	173.027	173.028	173.027	1	173.027	173.011
Rp A2	A	173.027	173.027	173.027	0	173.027	173.011
	A1	432.932	432.932	432.932	0	432.932	432.892
	A3	330.931	330.931	330.931	0	330.931	330.900

3.3.2 Вирівнювання мережі тунельної полігонометрії

Вирівнювання мережі тунельної полігонометрії виконано в програмному забезпеченні Credo DAT. Характеристика та оцінка точності тунельної полігонометрії наведені в таблиці 3.5

Табл. 3.5 Таблиця характеристики та оцінки точності тунельної полігонометрії

Назва ходу	Довжина (L), м	Кільк. точок	Кутова нев'язка		Лінійна нев'язка			
			Fb факт.	Fb доп.	Fx	Fy	Fs	[L]/Fs
B-Rp A2	2301.7	14	-0°00'28.7"	±0°00'36.1"	-0.027	-0.061	0.067	34451

3.3.3 Створення Локальної системи координат мережі тунельної полігонометрії

Беручи до уваги те, що тунель знаходиться в гірській місцевості на середній висоті 790м, при опрацюванні матеріалів в системі координат УСК-2000 завжди буде виникати необхідність вводити поправки в виміряні лінії за редукації на еліпсоїд. Для уникнення цієї незручності була змодельована Локальна система координат (далі ЛСК), в якій поверхня відносності була піднята з поверхні еліпсоїда Красовського (H=0) на середню висоту тунелю (H=790 м). Це забезпечить максимальну збіжність натурних вимірів на місцевості та проектно-розрахункових величин. Таку рекомендацію також наведено в останньому пункту висновку «Звіту».

Локальна система координат була створена шляхом внесення кута повороту, переміщення та масштабування базисної лінії. За базисну лінію прийнято лінію між пунктами ПП0003 та ПП1764. Мережа була повернута таким чином, щоб базисна лінія мала азимут 90°, в такому випадку зростання пікетажу по тунелю буде проходити зліва на право. Кут розвороту склав 212°00'39.2''. Для подальшої зручності роботи з координатами було зменшено кількість знаків в координатах X та Y, для цього мережу було переміщено таким чином щоб пункт ПП0003 мав координати X=200,000, Y=500,000. Відстань переміщення дорівнює

5408942,615 м. Підняття поверхні відносності на середню висоту тунелю було виконано шляхом масштабування мережі тунельної полігонометрії відносно середин базисної лінії. Масштабний коефіцієнт склав 1,00009315.

Всі подальші вимірювання та створення креслень будуть виконуватись в Локальній системі координат.

3.4 Опрацювання матеріалів нівелювання III класу по пунктах тунельної полігонометрії

Перед початком вирівнювання ходу нівелювання, в камеральних умовах було виконано перевірку журналів, проведено оцінку якості результатів нівелювання та підготовлено польову відомість перевищень.

Вихідні пункти нівелювання були взяті зі «Звіту», їх висоти наведені в таблиці 3.6.

Табл. 3.6 Висоти вихідних пунктів нівелювання

Назва пункту	Висота в (м)
Ст. Рп. №3357	798,614
Ст. марка №2128	784,128
Пункт В2	788,378

Вирівнювання ходу нівелювання виконано в програмному забезпеченні Credo DAT. Оцінка точності вирівнювання нівелірних ходів наведені в таблиці 3.7.

Табл. 3.7 Оцінка точності вирівнювання ходів нівелювання

Хід	Клас	Назва ходу	L, км	fh факт, м	fh доп., м
1	3 клас	В2 - ПП1764	0.280	0.0047	0.0053
2	3 клас	Ст.Марка №2128 - ПП1764	0,080	-0,0008	0.0028
3	3 клас	ПП1764 - Ст.Рп. №3357	1.900	0.0128	0.0138

Результати вирівнювання нівелірної мережі III класу по пунктах тунельної полігонометрії сформовані у вигляді зведеної відомості вирівнювання нівелірних ходів і приведені в таблиці 3.8.

Табл. 3.8 Польова відомість перевищень реперів нівелювання III класу

Номер секції	Вид і номер нівелірного репера, тип центру, рік закладки	Місце розташування нівелірного реперу	Відстань від початкового репера, км	Дата нівелювання	Кількість штативів	Вимірне перевищення, мм		Різниця перевищень П - З, мм	Середнє вимірне перевищення, мм
			Відстань між реперами, км	Прямо зворотно	Прямо зворотно	Прямий хід (П)	Зворотній хід (З)		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Хід №1. Від трубного репера В-2 до тунельного репера 1764									
1.1	Трубний репер В-2, 2012	Південна сторона від південного порталу тунелю 250 м від нього	0.10	26.04.2025	5	-9012.0	+9013.0	+1.0	-9012.5
1.2	Тимчасовий репер В, 2025	Південна сторона від південного порталу тунелю, 180 м від нього	0.28	19.04.2025	2	+2457.5	-2456.0	+1.5	+2456.8
	Тунельний репер 1764, 2025	Розташований праворуч по ходу пікетажу нового тунелю ПК17+64	0.18	26.04.2025	2				
<i>Загалом по ходу №1 :</i>			0.28		7	-6554.5	+6557	+2.5	-6555.8
<i>Допустима нев'язка по прямому та зворотному ходу $10\text{мм} \sqrt{0.28} =$</i>								±5.3	
Хід №2. Від стінної марки 2128 до тунельного репера 1764									
2.1	Стінна марка 2128, 1945	Південний портал старого тунелю Бескид, від входу ліворуч на висоті 3 м	0.08	26.04.2025	2	-2311.5	+2311.0	-0.5	-2311.2
	Тунельний репер 1764, 2025,	Розташований праворуч по ходу пікетажу нового тунелю ПК17+64	0.08	26.04.2025	2				
<i>Загалом по ходу №2 :</i>			0.08		2	-2311.5	+2311.0	-0.5	-2311.2
<i>Допустима нев'язка по прямому та зворотному ходу $10\text{мм} \sqrt{0.08} =$</i>								±2.8	

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Хід №3. Від тунельного репера 1764 до стінного репера 3357									
3.1	Тунельний репер 1764, 2025	Розташований праворуч по ходу пікетажу нового тунелю ПК17+64	0.18	22.04.2025	3	+2337.0	-2340.0	-3.0	+2338.5
3.2	Тунельний репер 1580, 2025	Розташований праворуч по ходу пікетажу нового тунелю ПК15+80	0.36	22.04.2025	3	+2137.5	-2138.5	-1.0	+2138.0
3.3	Тунельний репер 1400, 2025	Розташований праворуч по ходу пікетажу нового тунелю ПК14+00	0.56	22.04.2025	3	+2440.0	+2442.0	-2.0	+2441.0
3.4	Тунельний репер 1200, 2025	Розташований праворуч по ходу пікетажу нового тунелю ПК12+00	0.76	22.04.2025	3	+2376.5	-2379.0	-2.5	+2377.8
3.5	Тунельний репер 1000, 2025	Розташований праворуч по ходу пікетажу нового тунелю ПК10+00	0.97	26.04.2025	3	+2354.5	-2352.0	+2.5	+2353.2
3.6	Тунельний репер 0800, 2025	Розташований праворуч по ходу пікетажу нового тунелю ПК8+00	1.17	22.04.2025	3	+2186.5	-2188.5	-2.0	+2187.5
3.7	Тунельний репер 0600, 2025	Розташований праворуч по ходу пікетажу нового тунелю ПК6+00	1.37	22.04.2025	3	+867.5	-868.5	-1.0	+868.0
3.8	Тунельний репер 0400, 2025	Розташований праворуч по ходу пікетажу нового тунелю ПК4+00	1.57	22.04.2025	3	+587.0	-587.5	-0.5	+587.2
	Тунельний репер 0200, 2025	Розташований праворуч по ходу пікетажу нового тунелю ПК2+00	0.20	23.04.2025	3				

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3.9	Тунельний репер 0200, 2025	Розташований праворуч по ходу пікетажу нового тунелю ПК2+00	1.77	23.04.2025	3	+552.0	-551.0	+1.0	+551.5
3.10	Тунельний репер 0003, 2025	Розташований праворуч по ходу пікетажу нового тунелю ПК0+02	0.20	23.04.2025	3				
			1.90	23.04.2025	2	+967.0	-966.0	+1.0	+966.5
	Стінний репер 3357, 1945	Північний портал старого тунелю Бескид, від входу ліворуч на відстані 2 м	0.13	23.04.2025	2				
<i>Загалом по ходу №2 :</i>			<i>1.90</i>		<i>29</i>	<i>+16805.5</i>	<i>-16813.0</i>	<i>-7.5</i>	<i>+16809.2</i>
								<i>Допустима нев'язка по прямому та зворотному ходу 10мм $\sqrt{1.90} = \pm 13.8$</i>	

Табл. 3.9 Зведена відомість вирівнювання нівелірних ходів

Хід	Пункт	Довжина	h вим.	Поправка	h врівн.	H
1	2	3	4	5	6	7
1	B2					788,3780
		0,100	-9,0125	-0,0017	-9,0142	
	B					779,3638
		0,180	2,4568	-0,0030	2,4538	
	ПП1764					781,8176
Всього:		0,280	-6,5557	-0,0047	-6,5604	
Вирівняне перевищення:						-6,5604
Нев'язка:						0,0047
Поправка на 1 км:						-0,0168

Хід	Пункт	Довжина	h вим.	Поправка	h врівн.	H
1	2	3	4	5	6	7
2	Ст.Мрк. 2128					784,1280
		0,080	-2,3112	0,0008	-2,3104	
	ПП1764					781,8176
Всього:		0,080	-2,3112	0,0008	-2,3104	
Вирівняне перевищення:						-2,3104
Нев'язка:						-0,0008
Поправка на 1 км:						0,0100

Хід	Пункт	Довжина	h вим.	Поправка	h врівн.	Н
1	2	3	4	5	6	7
3	ПП1764					781,8176
		0,180	2,3385	-0,0012	2,3373	
	ПП1580					784,1549
		0,180	2,1380	-0,0012	2,1368	
	ПП1400					786,2917
		0,200	2,4410	-0,0013	2,4397	
	ПП1200					788,7313
		0,200	2,3778	-0,0013	2,3765	
	ПП1000					791,1078
		0,210	2,3532	-0,0014	2,3518	
	ПП0800					793,4596
		0,200	2,1875	-0,0013	2,1862	
	ПП0600					795,6457
	0,200	0,8680	-0,0013	0,8667		
ПП0400					796,5124	
	0,200	0,5872	-0,0013	0,5859		
ПП0200					797,0982	
	0,200	0,5515	-0,0013	0,5502		
ПП0003					797,6484	
	0,130	0,9665	-0,0009	0,9656		
	Ст.Рп. 3357					798,6140
Всього:		1,900	16,8092	-0,0128	16,7964	
Вирівняне перевищення:		16,7964				
Нев'язка:		0,0128				
Поправка на 1 км:		-0,0067				

Табл. 3.10 Оцінка точності визначення перевищень пунктів тунельної полігонометрії

Пункт	Скп.н, м
<i>В</i>	<i>0.0025</i>
<i>ПП0003</i>	<i>0.0032</i>
<i>ПП0200</i>	<i>0.0049</i>
<i>ПП0400</i>	<i>0.0058</i>
<i>ПП0600</i>	<i>0.0063</i>
<i>ПП0800</i>	<i>0.0065</i>
<i>ПП1000</i>	<i>0.0064</i>
<i>ПП1200</i>	<i>0.0061</i>
<i>ПП1400</i>	<i>0.0054</i>
<i>ПП1580</i>	<i>0.0043</i>
<i>ПП1764</i>	<i>0.0023</i>

3.5 Опрацювання матеріалів лінійно-кутових вимірювань на пунктах для спостережень за деформаціями

Польові матеріали лінійно-кутових вимірювань на марки для спостереження за деформаціями були опрацьовані в програмному забезпеченні Credo DAT. Опрацювання включало в себе наступні пункти:

- усереднення кутових вимірювань;
- усереднення лінійних вимірювань;
- визначення координат центрів пунктів для спостереження;

Схема методики лінійно-кутових вимірювань на пункти для спостережень наведено на рисунку 3.1.

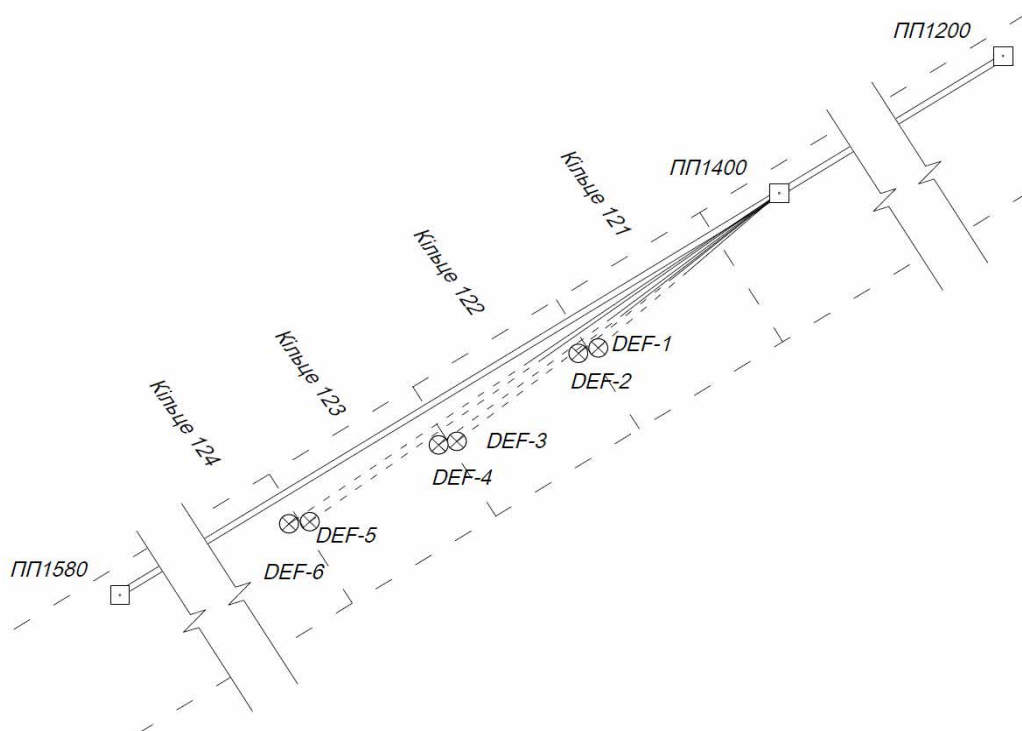


Рис. 3.1 Схема методики вимірювання планово-висотного положення пунктів спостереження за деформаціями.

3.6 Складання каталогу координат і висот пунктів тунельної триангуляції, пунктів тунельної полігонометрії та пунктів спостереження за деформаціями

Каталог координат пунктів тунельної триангуляції та пунктів тунельної полігонометрії складено у двох системах координат: системні координат УСК-2000 та Локальній системі координат та наведено в таблиці 3.11. В каталозі в системі УСК-2000 МСК-46 (Львівська область) приведені значення координат у проекції Гауса-Крюгера у триградусній зоні з осьовим меридіаном $L=24^\circ$. Значення висот приведені в Балтійській системі висот 1977 року.

Табл. 3.11 Каталог координат пунктів тунельної триангуляції та пунктів тунельної полігонометрії

№ з/п	Назва пункту	Координати, м				Відмітка, м	Опис
		УСК2000 МСК-46 (Львівська область)		Локальна система координат			
		X	Y	X	Y		
1	2	3	4	5	6	7	8
Вихідні пункти тунельної триангуляції							
1	A1	3150.656	512.316	399.192	582.2497	-	Північно східна сторона від північного порталу тунелю, 600 м від нього
2	Rp-A2	3583.484	503.964	27.687	359.9246	-	Північно західна сторона від північного порталу тунелю, 400 м від нього
3	A3	3461.084	811.405	294.444	164.0607	808.763	Північно східна сторона від північного порталу тунелю, 600 м від нього
4	B2	2341.303	785.383	170.288	2475.8248	788.378	Південна сторона від південного порталу тунелю 250 м від нього
5	B3	2354.561	915.692	228.110	2358.2836	-	Південно східна сторона від південного порталу тунелю 250 м від нього

1	2	3	4	5	6	7	8
Пункти тунельної полігонометрії							
6	A	3470.620	635.079	192.907	308.5439	-	<i>Північно східна сторона від північного порталу тунелю, 190 м від нього</i>
7	ПП0003	3363.152	476.492	199.998	500.001	797.648	<i>Розташований праворуч по ходу пікетажу нового тунелю ПК0+03</i>
8	ПП0200	3258.433	308.856	199.957	697.67	797.098	<i>Розташований праворуч по ходу пікетажу нового тунелю ПК2+00</i>
9	ПП0400	3151.875	138.356	199.974	898.754	796.512	<i>Розташований праворуч по ходу пікетажу нового тунелю ПК4+00</i>
10	ПП0600	3046.436	969.692	200.006	1097.680	795.646	<i>Розташований праворуч по ходу пікетажу нового тунелю ПК6+00</i>
11	ПП0800	2940.237	799.758	200.009	1298.089	793.460	<i>Розташований праворуч по ходу пікетажу нового тунелю ПК8+00</i>

1	2	3	4	5	6	7	8
12	ПП1000	2834.303	630.184	199.975	1498.051	791.108	Розташований праворуч по ходу пікетажу нового тунелю ПК10+00
13	ПП1200	2727.312	459.051	200.010	1699.896	788.731	Розташований праворуч по ходу пікетажу нового тунелю ПК12+00
14	ПП1400	2622.005	290.573	200.018	1898.594	786.292	Розташований праворуч по ходу пікетажу нового тунелю ПК14+00
15	ПП1580	2527.290	138.938	199.967	2077.399	784.155	Розташований праворуч по ходу пікетажу нового тунелю ПК15+80
16	ПП1764	2430.077	983.471	199.997	2260.773	781.818	Розташований праворуч по ходу пікетажу нового тунелю ПК17+64
17	В	2335.401	834.383	201.252	2437.394	779.364	Південна сторона від південного порталу тунелю, 180 м від нього

Каталог координат пунктів для спостереження за деформаціями складений в Локальній системі координат та в Балтійській системі висот 1977 року. Його наведено в таблиці 3.12. Ці координати являються початковими для подальшого спостереження за деформаціями елементів тунелю.

Табл. 3.12 Каталог координат пунктів для спостереження за деформаціями

Назва	X	Y	H
<i>DEF-1</i>	<i>201.831</i>	<i>1940.848</i>	<i>793.3435</i>
<i>DEF-2</i>	<i>201.474</i>	<i>1942.495</i>	<i>793.138</i>
<i>DEF-3</i>	<i>201.448</i>	<i>1952.701</i>	<i>793.006</i>
<i>DEF-4</i>	<i>201.472</i>	<i>1954.197</i>	<i>793.012</i>
<i>DEF-5</i>	<i>201.749</i>	<i>1965.067</i>	<i>793.018</i>
<i>DEF-6</i>	<i>201.584</i>	<i>1966.443</i>	<i>792.928</i>

3.7 Камеральне опрацювання результатів лазерного сканування

3.7.1 Імпорт, реєстрація та геоприв'язка хмари точок

Камеральні роботи з результатами лазерного сканування виконувалися після завершення польових робіт та полягала у поетапному перетворенні сирих даних у точну тривимірну модель тунелю. Усі операції здійснювалися у програмному забезпеченні Leica Cyclone Register 360, що забезпечує повний цикл робіт – від імпорту даних до формування креслень та звітів.

Перед початком опрацювання проводилась перевірка цілісності отриманих файлі – зіставлення кількості сканів із польовим журналом, перевірка їх назв. Це дозволяє впевнитися, що під час передачі не відбулося пошкодження даних або втрати фрагментів сканування.

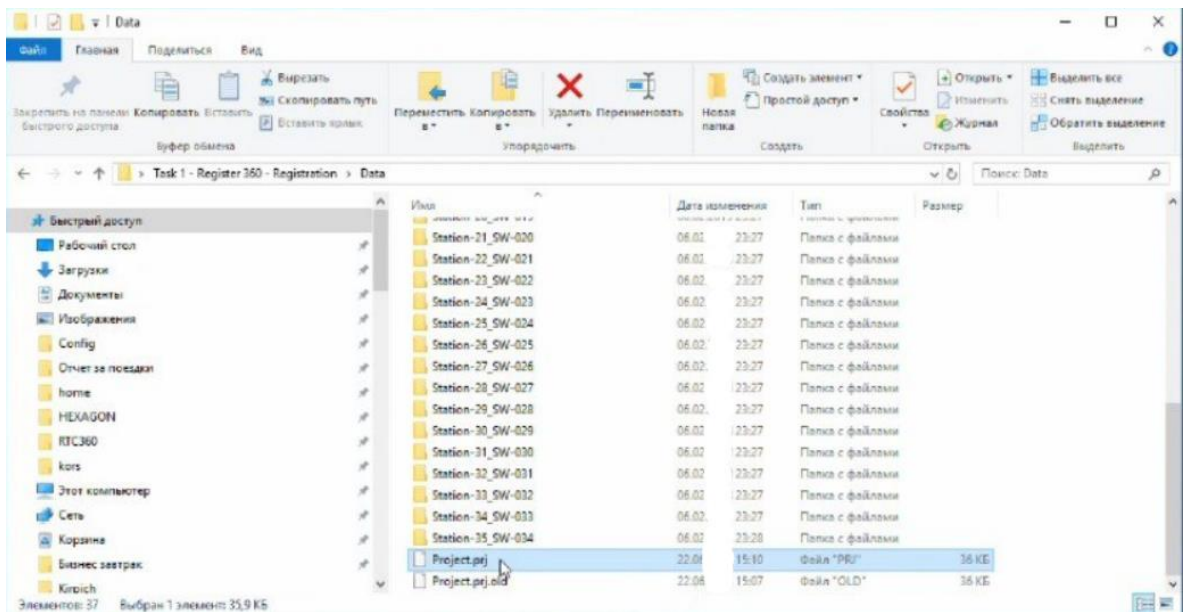


Рис. 3.2 Приклад початкових (сирих даних) лазерного сканування

Далі виконувалось попереднє фільтрування – видалення сторонніх точок, які виникли через пил, вологу, рухомі об'єкти (людей, техніку), а також відбиття від блискучих поверхонь. Для цього у програмі Leica Cyclone Register 360 використовується фільтр Nois Filter.

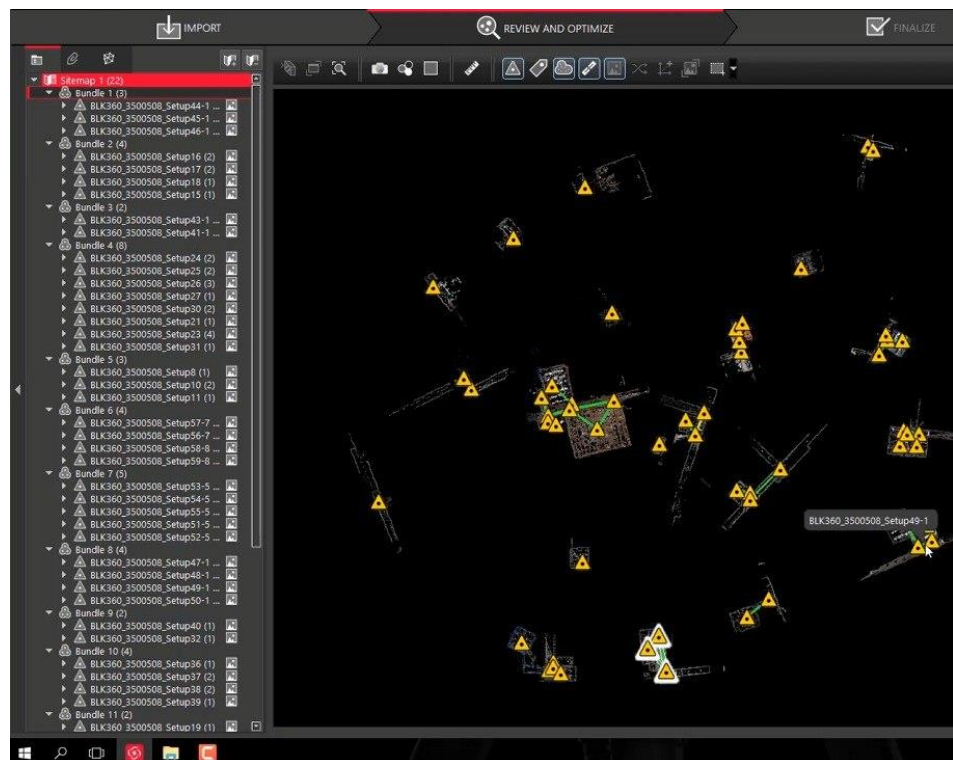


Рис. 3.3 Приклад сканів які імпортували в програму

Наступним етапом роботи була реєстрація хмар точок, під час якого окремі скани поєднувалися у єдину систему. Вона виконувалась у два етапи:

- локальне зведення (між суміжними станціями);
- глобальне вирівнювання (за опорними пунктами полігонометрії);

Додатково застосовувалась функція Cloud-to-Cloud Registration (рис 3.4), що використовується для ручного співставлення поверхонь. Цей метод забезпечив підвищену точність при зведенні сканів у місцях із достатнім перекриттям (не менше 30%)

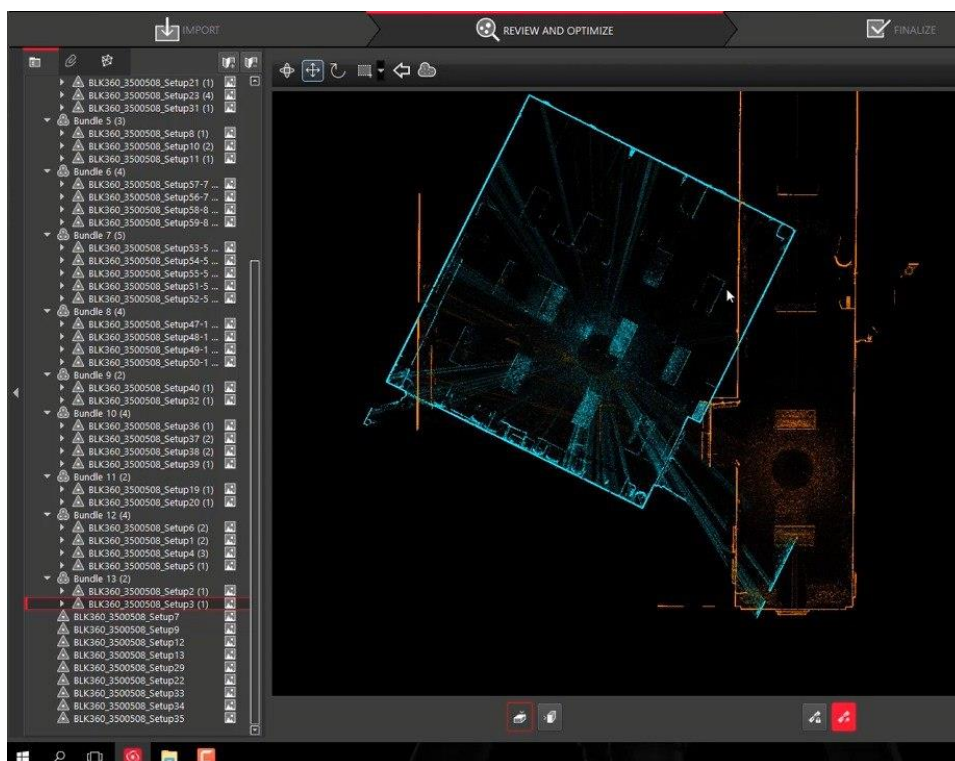


Рис. 3.4 Приклад роботи функції Cloud-to-Cloud

Після завершення зведення, система автоматично виконувала обчислення трансформаційних параметрів (зсув, обертання, масштаб), а користувач здійснював контроль похибки зведення. За результатами реєстрації середня квадратична похибка не перевищувала 1,5 мм, що відповідає нормативним вимогам ДСТУ Б В.2.1-30:2014. Вкопювання з відомості точності реєстрації хмари наведено у таблиці 3.13.

Табл. 3.13 Точність реєстрації станцій

Constraint ID	ScanWorld	ScanWorld	Error		Error Vector				Horz		Vert				
M1	Station-006:	Station-008:	0.003	m	-	0.001	0.003,	-	0.002	m	0.003	m	-0.002	m	
M2	Station-006:	Station-008:	0.004	m	-	0.001	0.003,	-	0.003	m	0.003	m	-0.003	m	
M3	Station-008:	Station-009:	0.001	m	0.000	-	0.001,	-	0.000	m	0.001	m	0.000	m	
M3	Station-008:	Station-010:	0.003	m	0.000	-	0.003,	-	0.001	m	0.003	m	-0.001	m	
M4	Station-008:	Station-009:	0.002	m	0.000	0.001,	-	0.001	m	0.001	m	-0.001	m		
M4	Station-008:	Station-010:	0.004	m	-	0.001	0.003,	-	0.002	m	0.003	m	-0.002	m	
M3	Station-009:	Station-010:	0.002	m	0.000	-	0.002,	-	0.001	m	0.002	m	-0.001	m	
M4	Station-009:	Station-010:	0.003	m	0.000	0.002,	-	0.001	m	0.002	m	-0.001	m		
M6	Station-010:	Station-011:	0.001	m	0.000	0.000,	-	0.001	m	0.000	m	-0.001	m		
M6	Station-010:	Station-012:	0.004	m	0.000	-	0.003,	-	0.003	m	0.003	m	-0.003	m	
M5	Station-010:	Station-011:	0.001	m	0.000	0.000,	-	0.000	m	0.000	m	0.000	m		
M5	Station-010:	Station-012:	0.003	m	-	0.001	0.003,	-	0.001	m	0.003	m	-0.001	m	
M6	Station-011:	Station-012:	0.003	m	0.000	-	0.003,	-	0.001	m	0.003	m	-0.001	m	
M5	Station-011:	Station-012:	0.003	m	-	0.001	0.003,	-	0.000	m	0.003	m	0.000	m	
M7	Station-012:	Station-013:	0.001	m	0.000	0.001,	-	0.000	m	0.001	m	0.000	m		
M7	Station-012:	Station-014:	0.002	m	-	0.001	0.000,	-	0.001	m	0.001	m	-0.001	m	
M8	Station-012:	Station-013:	0.002	m	0.000	-	0.001,	-	0.001	m	0.001	m	-0.001	m	
M8	Station-012:	Station-014:	0.002	m	0.000	0.000,	-	0.002	m	0.000	m	-0.002	m		
M7	Station-013:	Station-014:	0.002	m	0.000	-	0.002,	-	0.001	m	0.002	m	-0.001	m	
M8	Station-013:	Station-014:	0.002	m	0.000	0.002,	-	0.001	m	0.002	m	-0.001	m		
M10	Station-014:	Station-015:	0.001	m	0.000	-	0.001,	-	0.001	m	0.001	m	-0.001	m	
M10	Station-014:	Station-016:	0.004	m	-	0.001	-	0.004,	-	0.001	m	0.004	m	-0.001	m
M9	Station-014:	Station-015:	0.001	m	0.000	0.001,	-	0.001	m	0.001	m	-0.001	m		
M9	Station-014:	Station-016:	0.005	m	0.000	0.004,	-	0.002	m	0.004	m	-0.002	m		
M9	Station-015:	Station-016:	0.004	m	0.000	0.003,	-	0.002	m	0.003	m	-0.002	m		

Після успішного зведення сканів виконувалась геоприв'язка хмари точок до Локальної системи координат, створеної під час польових GNSS та тахеометричних робіт. Прив'язка забезпечує просторову відповідність хмари точок з координатною системою прийнятою для всього об'єкта.

Прив'язка виконувалась за допомогою команд Registration -) Constraints -) Survey Control Points (рис 3.5), де вводились відомі координати опорних пунктів тунельної полігонометрії. Програма автоматично обчислювала трансформацію «локальної» системи сканів у державну систему координат УСК-2000 МСК-46.

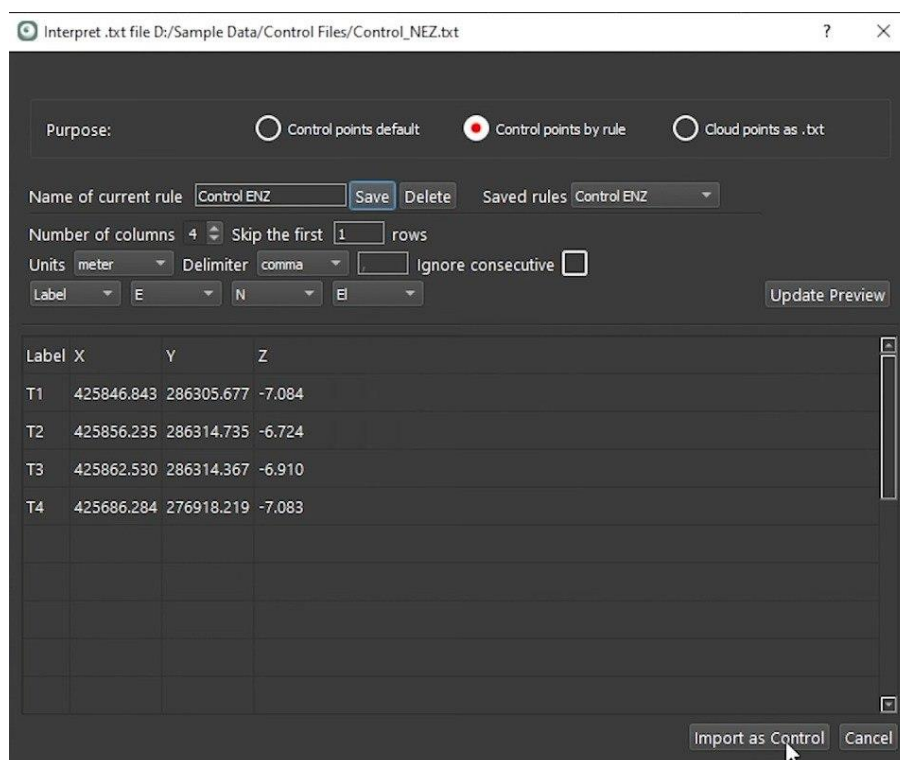


Рис. 3.5 Приклад введення координат тунельної полігонометрії у програму Leica CR 360

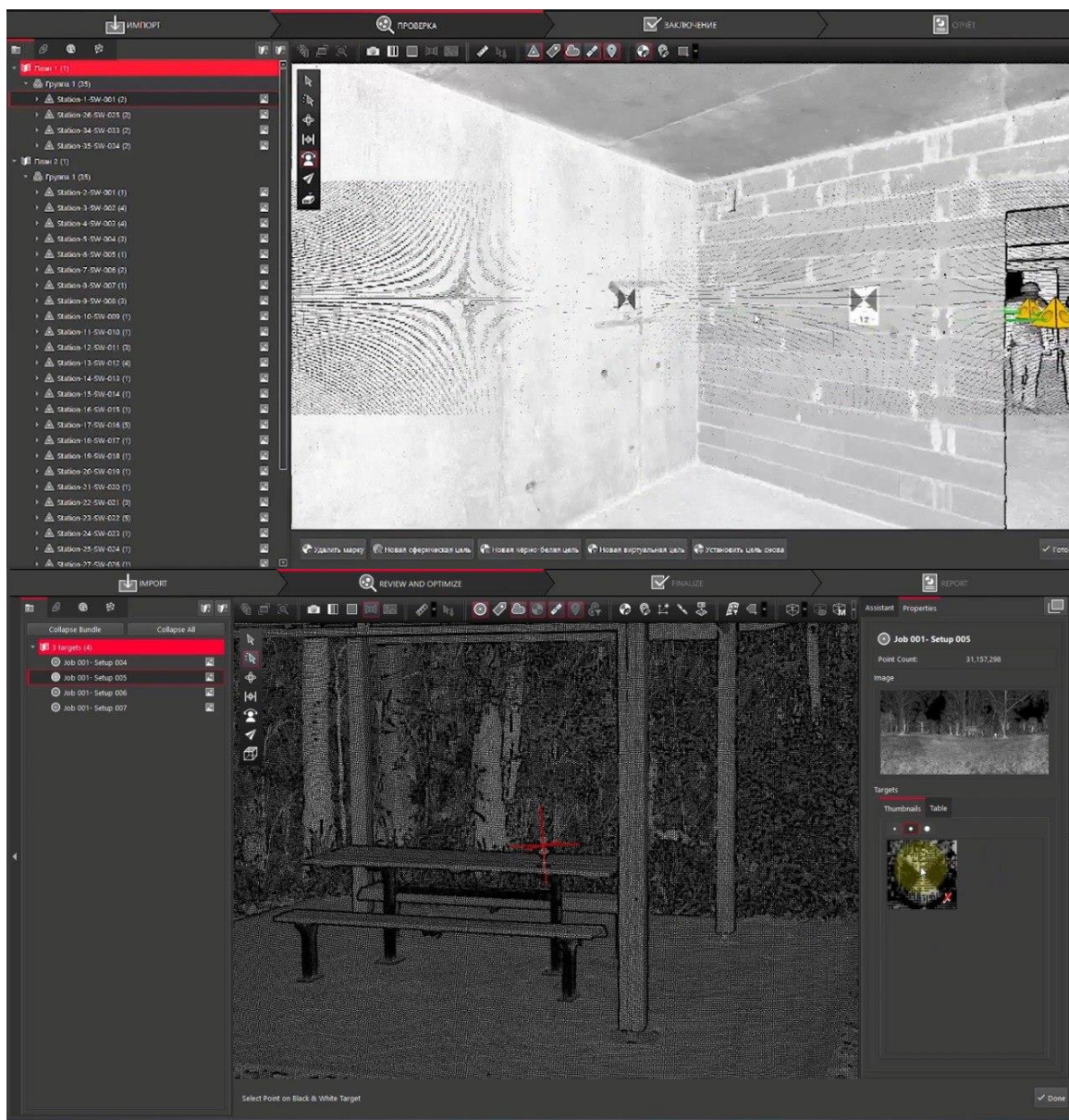


Рис. 3.6 Візуалізація режиму прив'язки хмари точок по маркам

Контроль точності проводився шляхом порівняння координат тих самих пунктів, визначених у процесі сканування та у ході полігонометрії. Відхилення становило не більше ± 2 мм в плані та ± 3 мм по висоті, що свідчить про правильність прив'язки, таблиця 3.14.

У результаті вся хмара точок тунелю була зведена у єдину велику хмару точок, що дає змогу інтегрувати ці дані у наступні етапи опрацювання та подальший моніторинг.

Табл. 3.14 Точність прив'язки до системи координат

Constraint ID	ScanWorld	Error		Error Vector				Horz		Vert		
M62	Station-086:	0.005	m	-0.003	-	0.001,	0.004	m	0.003	m	0.004	m
M62	Station-087:	0.005	m	-0.004	0.000,	0.003	m	0.004	m	0.003	m	m
M62	Station-088:	0.005	m	-0.004	0.000,	0.003	m	0.004	m	0.003	m	m
M62	Station-089:	0.004	m	-0.003	0.000,	0.003	m	0.003	m	0.003	m	m
M60	Station-085:	0.007	m	0.001	0.001,	0.007	m	0.001	m	0.007	m	m
M59	Station-085:	0.007	m	-0.003	-	0.001,	0.006	m	0.003	m	0.006	m
M60	Station-086:	0.006	m	0.003	0.005,	0.002	m	0.005	m	0.002	m	m
M59	Station-086:	0.005	m	-0.003	-	0.004,	0.003	m	0.005	m	0.003	m
M60	Station-087:	0.003	m	0.001	0.001,	0.002	m	0.001	m	0.002	m	m
M59	Station-087:	0.003	m	0.000	-	0.001,	0.003	m	0.001	m	0.003	m
M60	Station-088:	0.004	m	0.001	0.000,	0.004	m	0.001	m	0.004	m	m
M59	Station-088:	0.001	m	0.000	0.000,	0.001	m	0.001	m	0.001	m	m
PP1000	Station-042:	0.008	m	0.008	0.000,	0.000	m	0.008	m	0.000	m	m
PP0800	Station-053:	0.006	m	0.004	0.001,	0.004	m	0.004	m	-0.004	m	m
PP0600	Station-061:	0.006	m	0.002	0.000,	0.006	m	0.002	m	-0.006	m	m
PP0400	Station-070:	0.010	m	0.000	0.000,	0.010	m	0.001	m	-0.010	m	m
PP0200	Station-081:	0.025	m	-0.002	-	0.001,	0.025	m	0.002	m	-0.025	m
PM3	Station-074:	0.003	m	0.002	-	0.001,	0.002	m	0.002	m	0.002	m
PM2	Station-074:	0.001	m	-0.001	0.000,	0.000	m	0.001	m	0.000	m	m
PM1	Station-074:	0.003	m	0.001	0.000,	0.003	m	0.001	m	0.003	m	m

3.7.2 Результати камерального опрацювання лазерного сканування

Опрацьована хмара точок була експортована у декілька форматів:

- Файл з розширенням «e57» є компактним, незалежним від постачальника, форматом файлу, який використовується для зберігання та обміну даними тривимірних (3D) хмар точок по результатам лазерного сканування. Розмір файлу 90 GB.
- Формат файлів «RCP» є файлом програми Autodesk ReCap і є файлом сканування однієї хмари точок. Формат файлу RCP є проектним файлом, який вказує на окремі файли сканування що містять інформацію про них. Формат файлів RCP підтримує багато програм для майбутнього

опрацювання хмари точок, такі як Autodesk Revit, AutoCAD, Navisworks, тощо. Формат RCP надавався в прорідженому (облегшеному) варіанті до 10мм. Розмір файлу 14 GB.

Приклади отриманого результату наведені нижче.

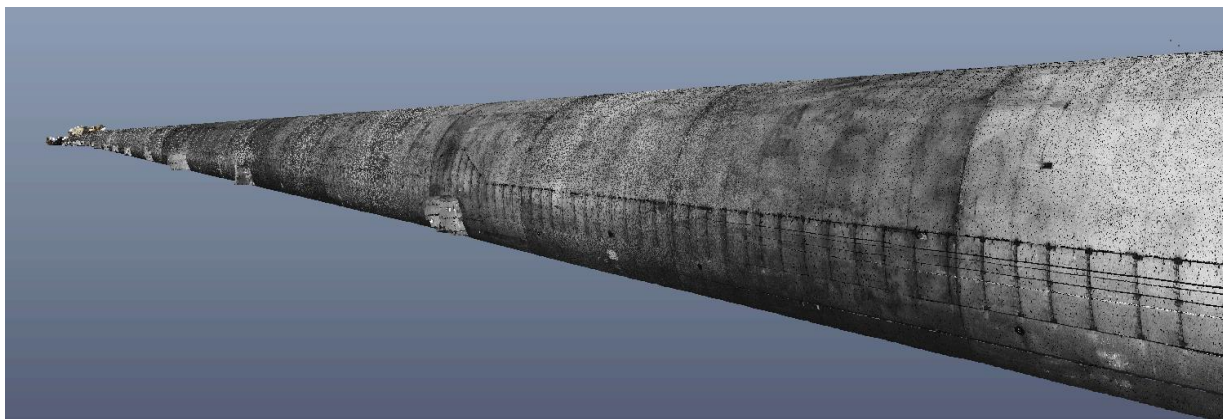


Рис. 3.7 Хмара точок після реєстрації. Вид збоку

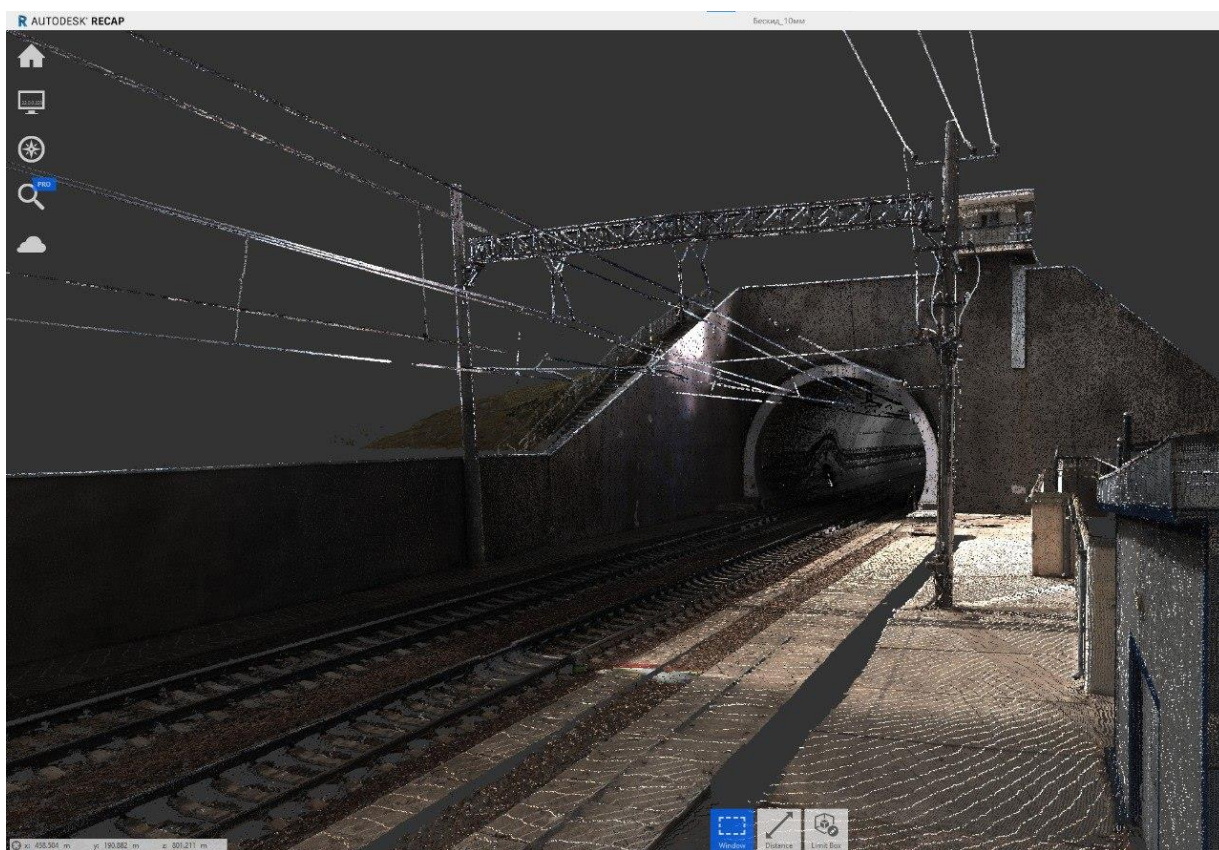


Рис. 3.8 Вид на тунель зі сторони західного порталу

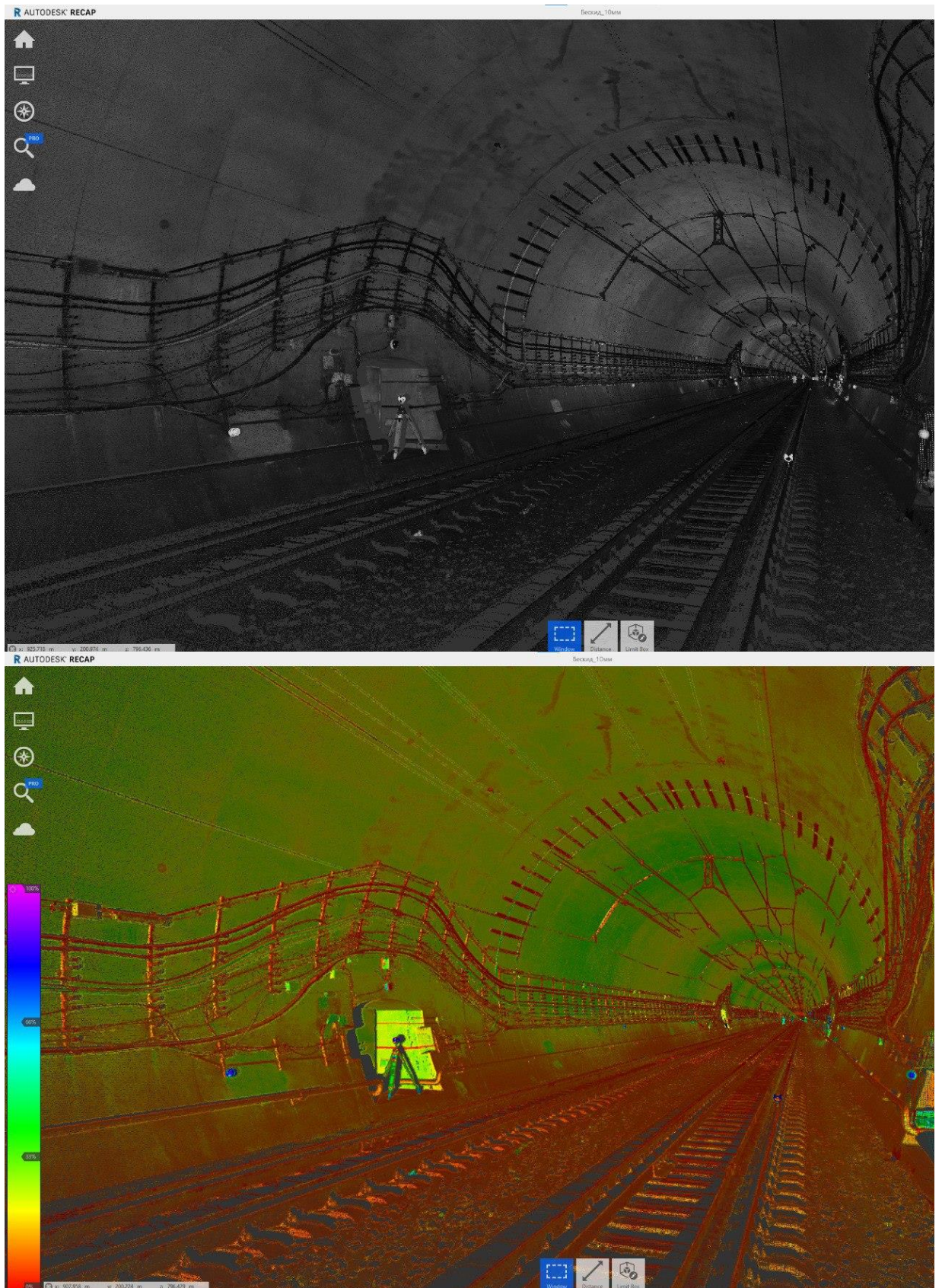


Рис. 3.8 Вид тунелю із середини у різному відображенні

А) Чорно-білий формат відображення

Б) Інтенсивний формат відображення

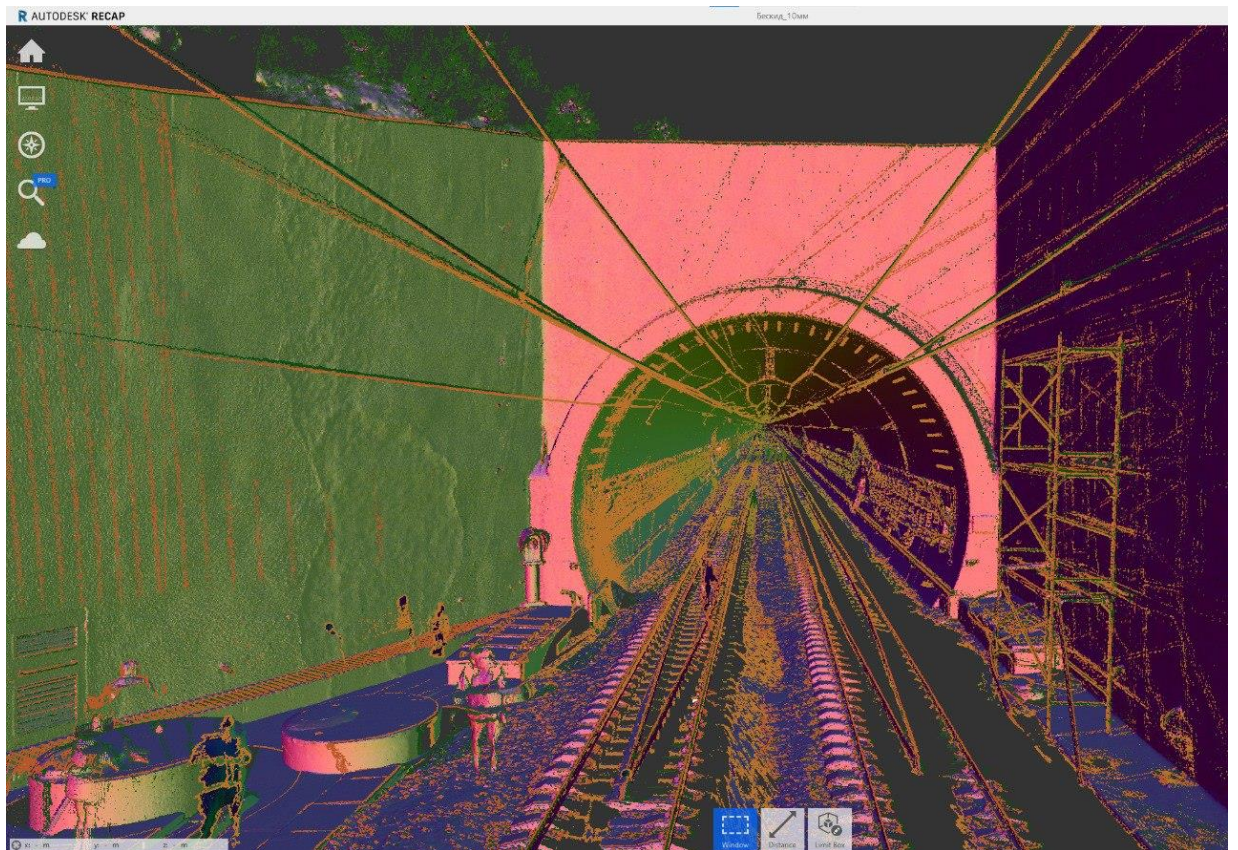


Рис. 3.9 Вид на тунель зі сторони східного порталу в режимі Нормаль

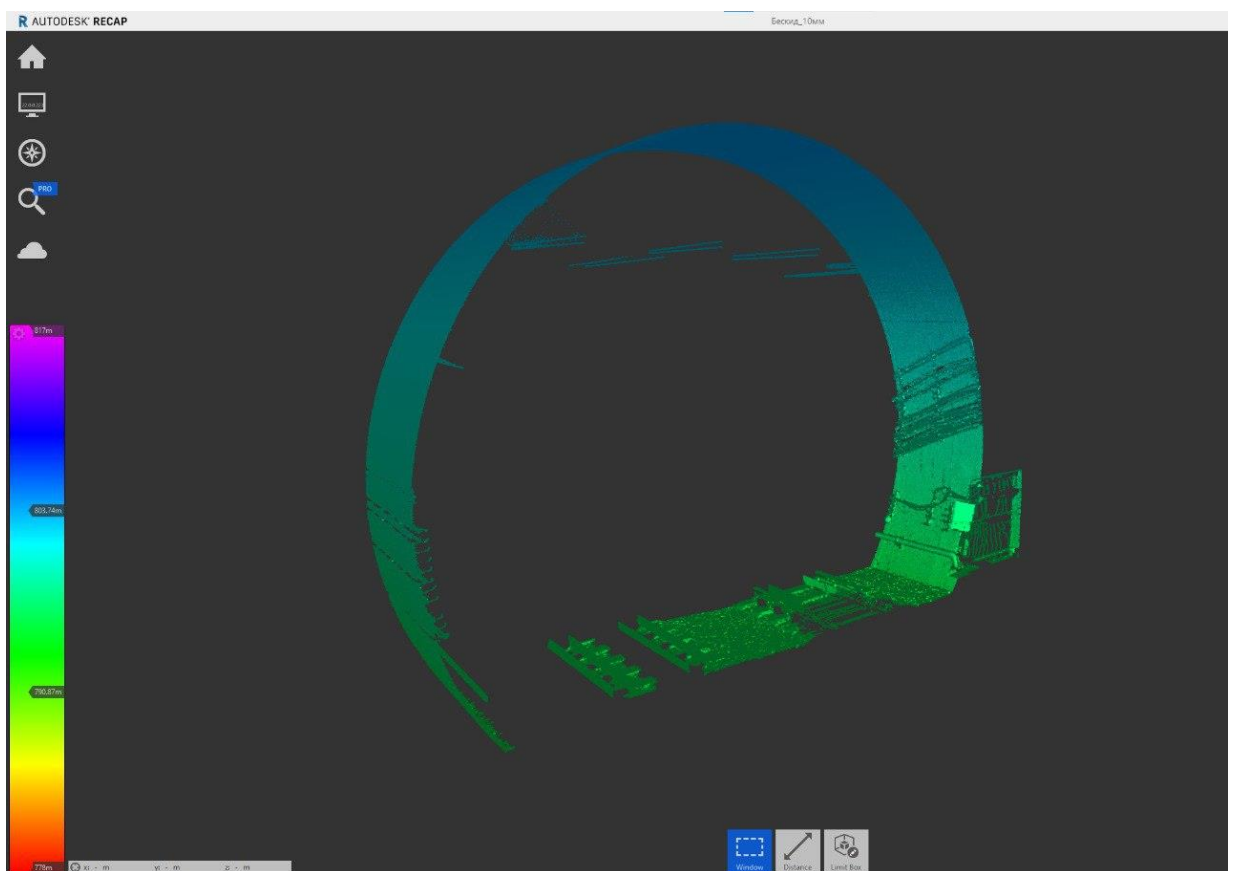


Рис. 3.10 Приклад поперечного розрізу хмари точок в режимі Інтенсив

РОЗДІЛ 4 СТВОРЕННЯ КРЕСЛЕНЬ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕМЕНТІВ ТУНЕЛЮ

4.1 Створення повздовжнього профілю положення колії залізниці та склепіння тунелю

Повздовжній профіль було створено на основі даних хмари точок, отриманої методом лазерного сканування. За початковий ПК0+00 тунелю було прийнято ПК16353+22,80 залізниці. Для побудови повздовжнього профілю кожні 20 м. було визначено відмітки головок рейок залізниці та склепіння тунелю. Креслення повздовжнього профілю додаються в Додаток Г.

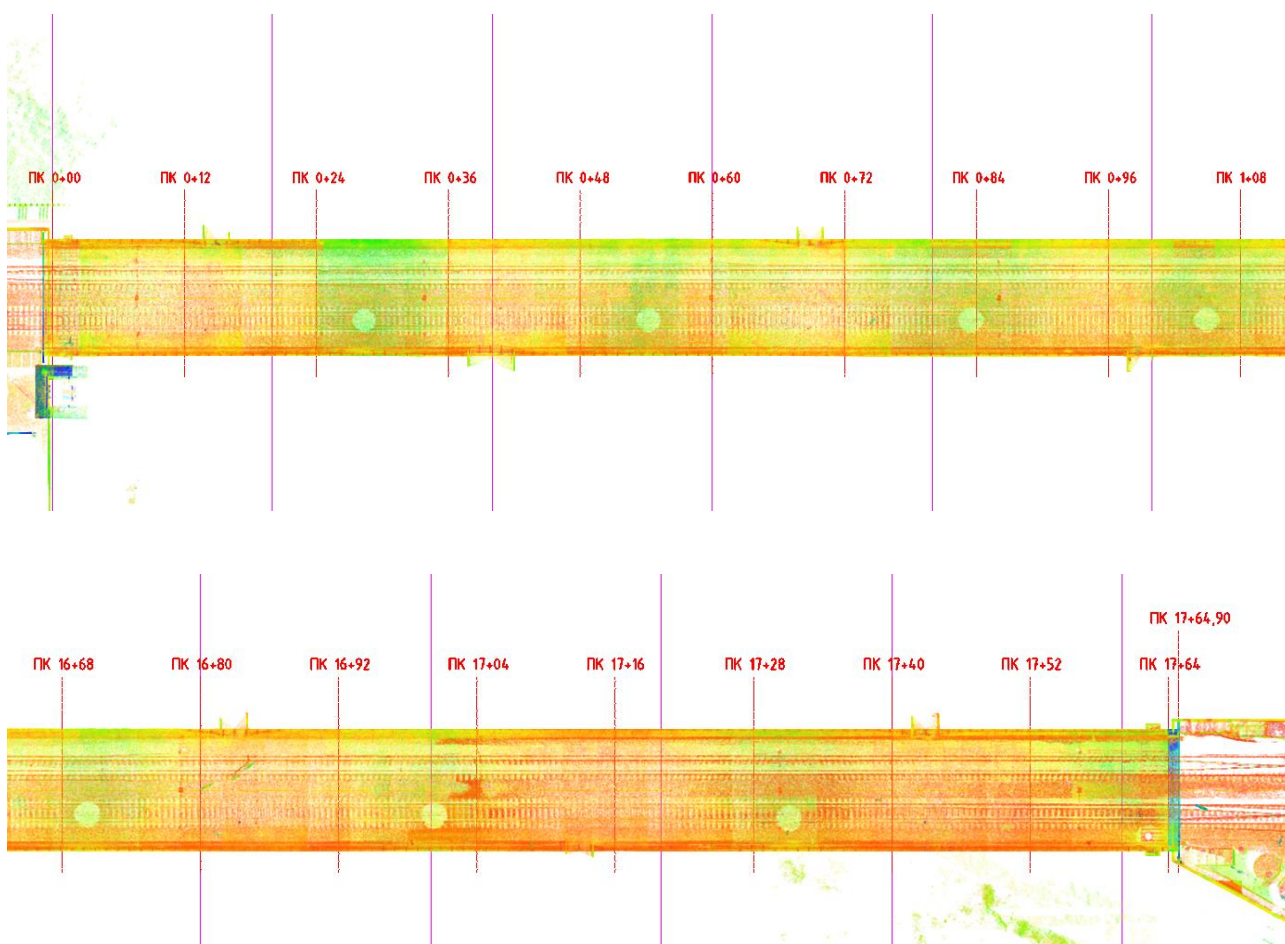


Рис. 4.1 Пікетаж тунелю накладений на хмару точок (початок і кінець тунелю)

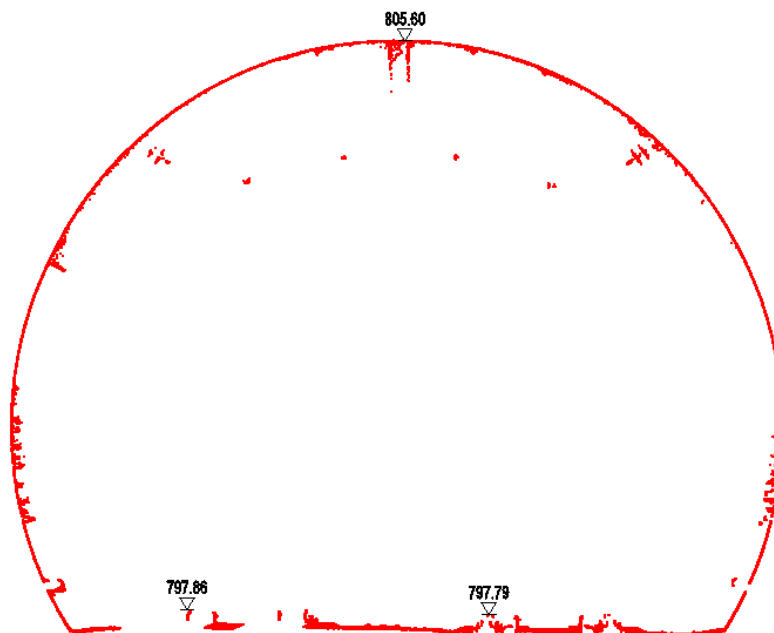


Рис. 4.2 Визначення відміток головки рейок та склепіння тунелю

4.2 Побудова поперечних січень облицювання тунелю в середовищі AutoCAD за даними лазерного сканування

Після завершення камерального опрацювання в програмі Leica CR 360 готову хмару точок було експортовано у формати .e57 та .rcp. Формат .rcp було використано для подальшої роботи в AutoCAD, оскільки він забезпечує оптимальне поєднання точності та швидкості при візуалізації великих 3D-моделей.

- Для імпорту хмари точок у програму AutoCAD треба зробити наступні дії:
- У програмі AutoCAD обирається вкладка Insert -) Point Cloud -) Attach;
- У вікні імпорту вибирається система координат;
- Після завантаження хмари точок у вікні Модель буде відображатися наша хмара точок;

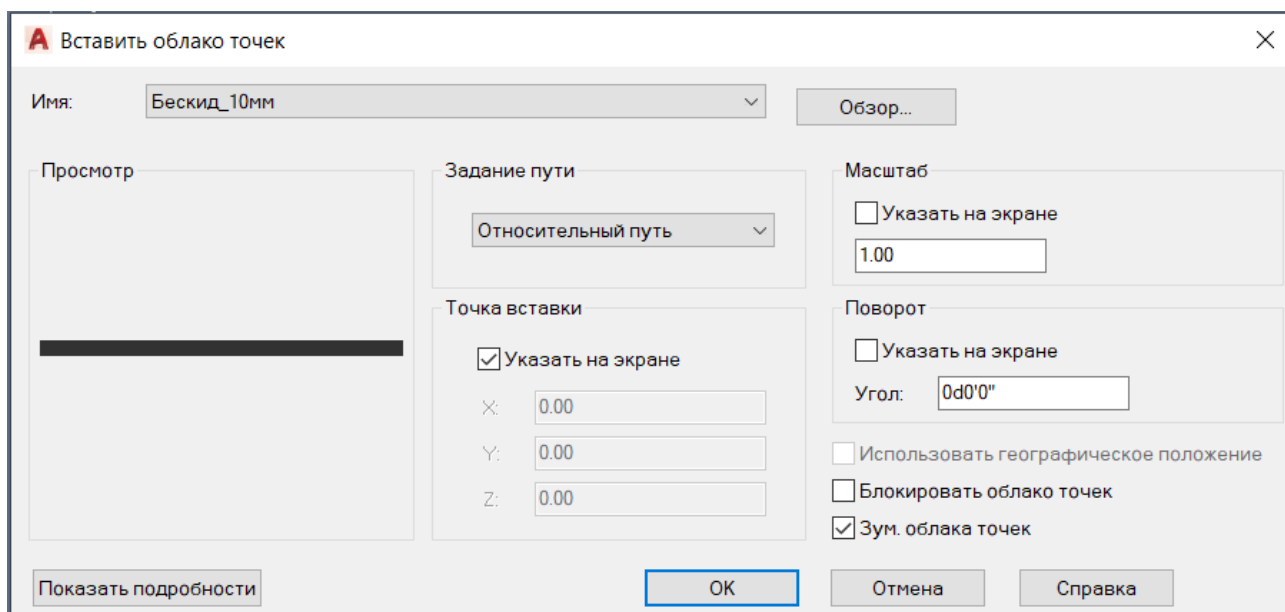
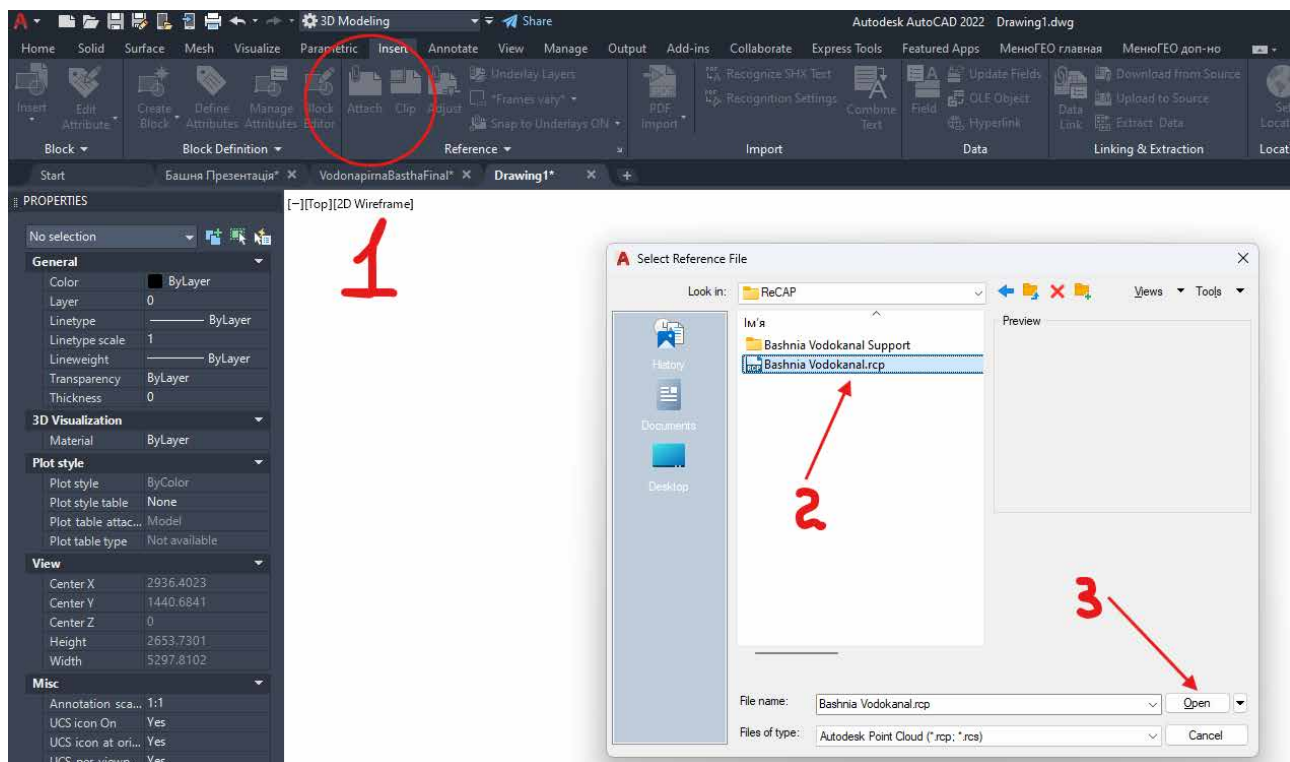


Рис. 4.3 Процесс импорту хмари точек в программу AutoCAD

Перш ніж почати побудову креслення, треба зробити «підрізку» хмари точок у відповідному місці де треба зробити спостереження і зорієнтувати вид креслення перпендикулярно до осі тунелю. Це робиться через вбудовані команди програми (рис. 4.4-5).

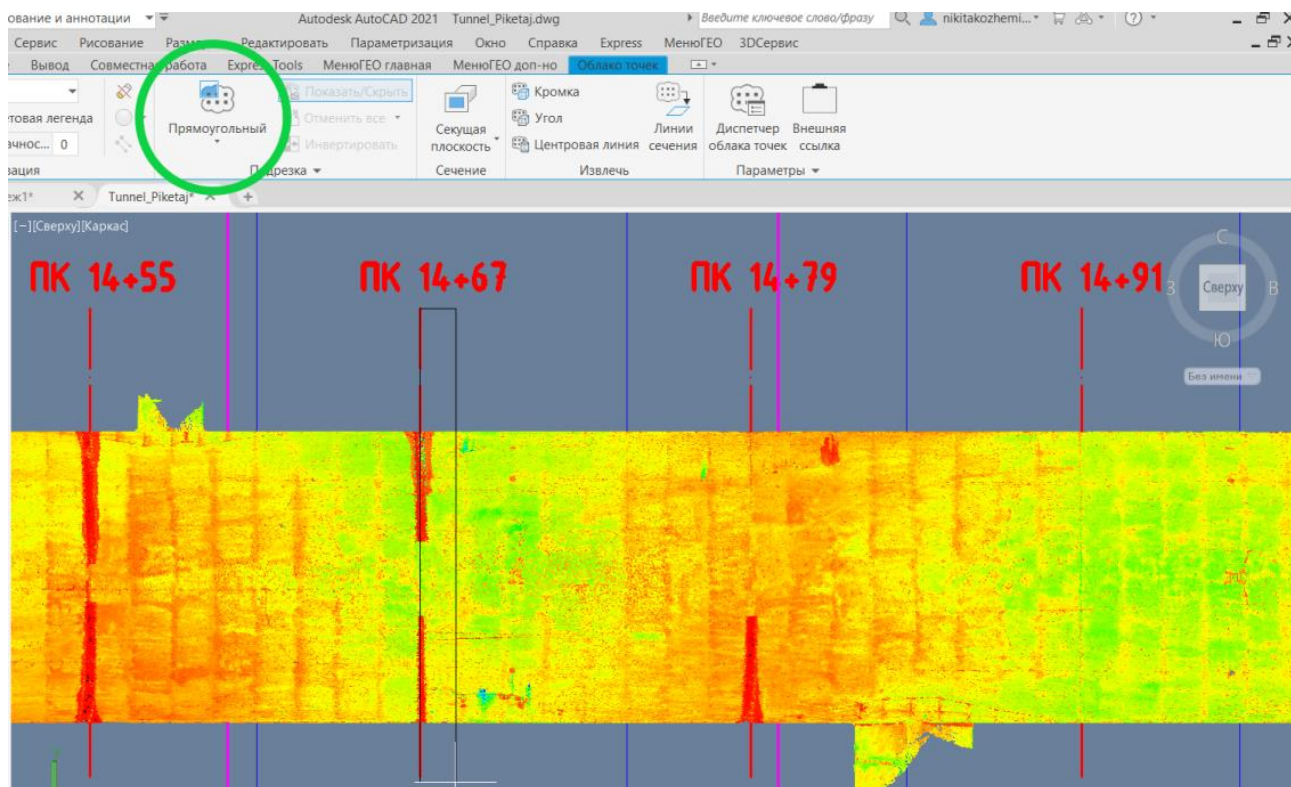


Рис. 4.4 Процесс «підрізки» хмари точок в програмі AutoCAD

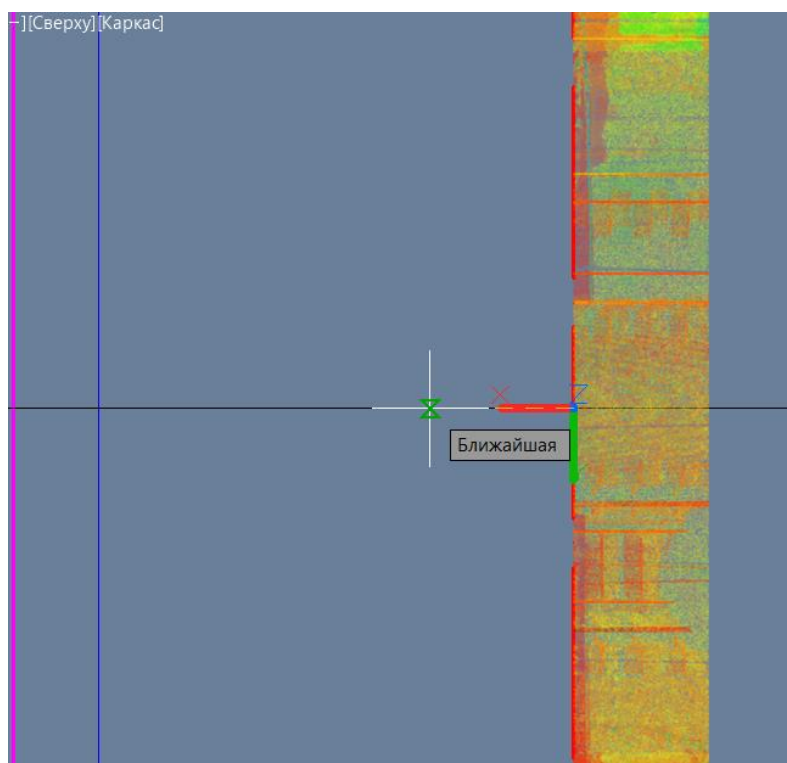


Рис. 4.5 Процесс «орієнтування» хмари точок в програмі AutoCAD
командою UCS -) ZA

Обведення хмари точок відбувалась за допомогою вбудованих інструментів один із яких «полілінія». Процес заключається щоб обмалювати хмару точок полілінією та перетворення їх сегментів у дугу (рис. 4.6)

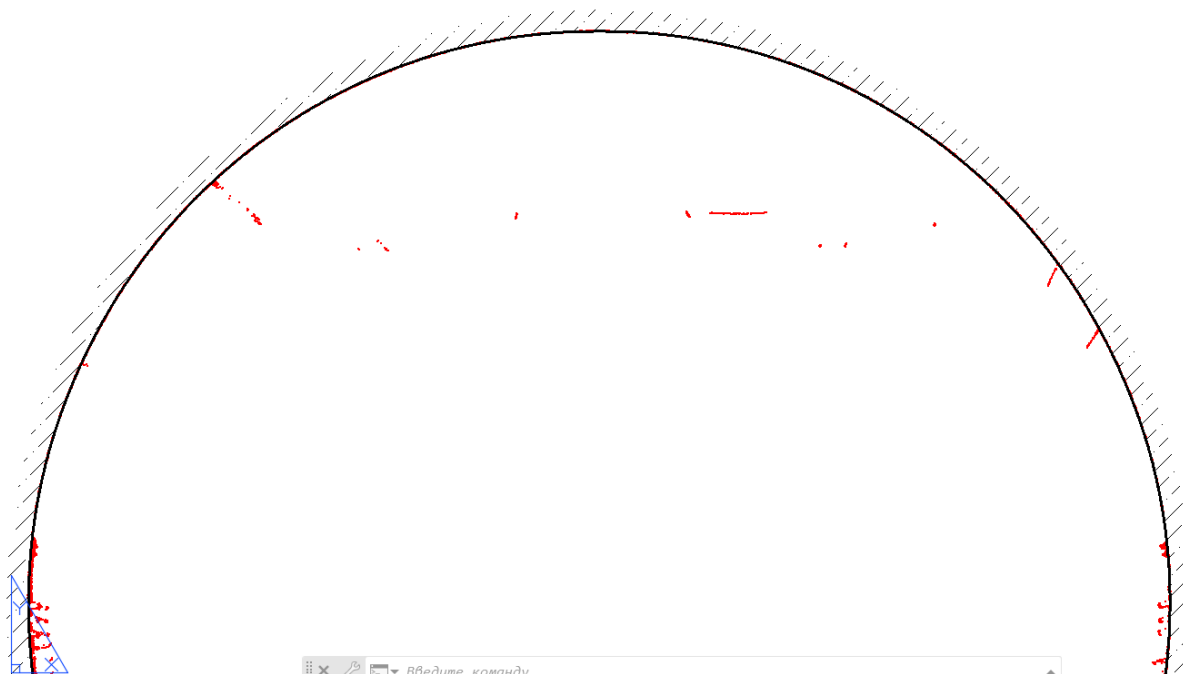


Рис. 4.6 Процес обводження хмари точок в програмі AutoCAD командою полілінія та подальше перетворення їх сегментів у дугу

4.3 Визначення деформації залізничного тунелю та складання пакету креслень

Метою створення поперечних розрізів облицювання тунелю є аналіз фактичних геометричних параметрів облицювання кільця, деформацій та порівняння з їх проектними розмірами.

Для цього використовуючи данні з хмари точок, в визначених місцях було зроблено 10 розрізів на наступних пікетах: ПК0+66, ПК2+94, ПК5+79, ПК8+67, ПК11+49, ПК14+37, ПК14+49, ПК14+61, ПК14+73 та ПК17+58.

Схема січення облицювання показано на рис 4.7.

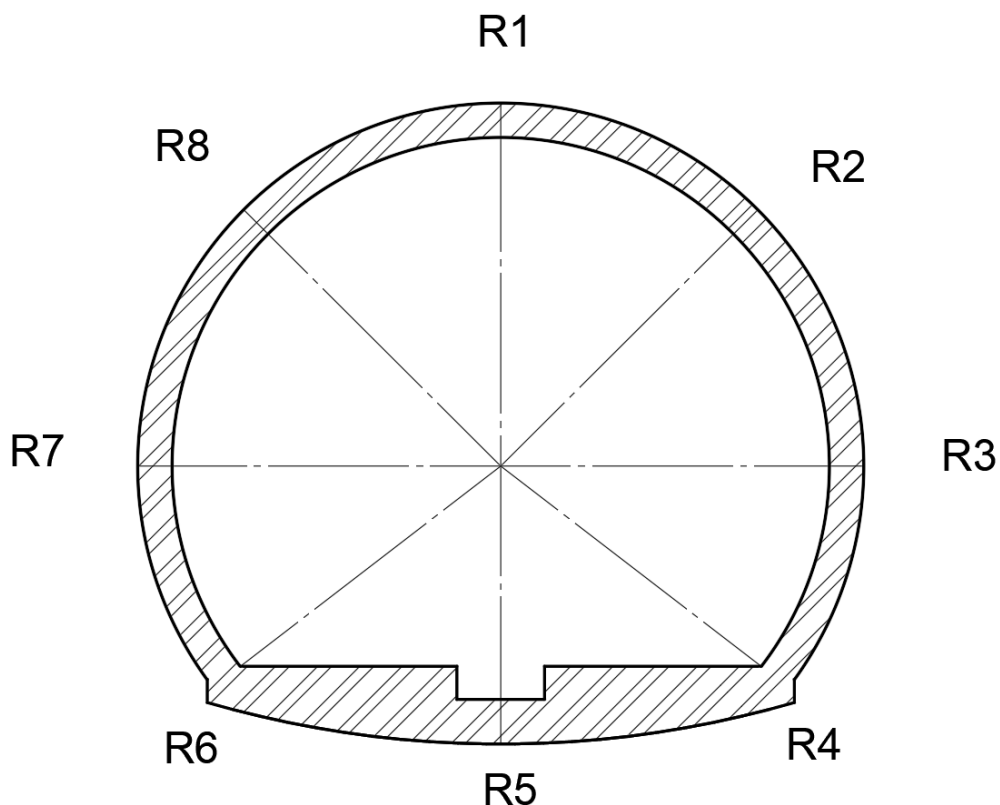


Рис. 4.7 Схема січення облицювання тунелю

Оскільки метою роботи є визначення відхилення фактичних розмірів облицювання від проектних в конкретних місцях, а не від загального проектного положення, прив'язку проектного січення треба робити до середніх значень фактичного облицювання тунелю. Враховуючи той факт, що найменший вплив зовнішніх факторів, і як результат найменших деформацій, зазнають точки в районі R6 та R4, вирішено прив'язку проектних розмірів кільця робити спираючись на цю частину облицювання. Проектні розміри облицювання взяті з проектної документації, в саме: 26/11-1911-3СР «Побудова Залізничного тунелю, Постійне оздоблення тунелю. Конструкції оздоблення по етапам роботи. Етап 2».

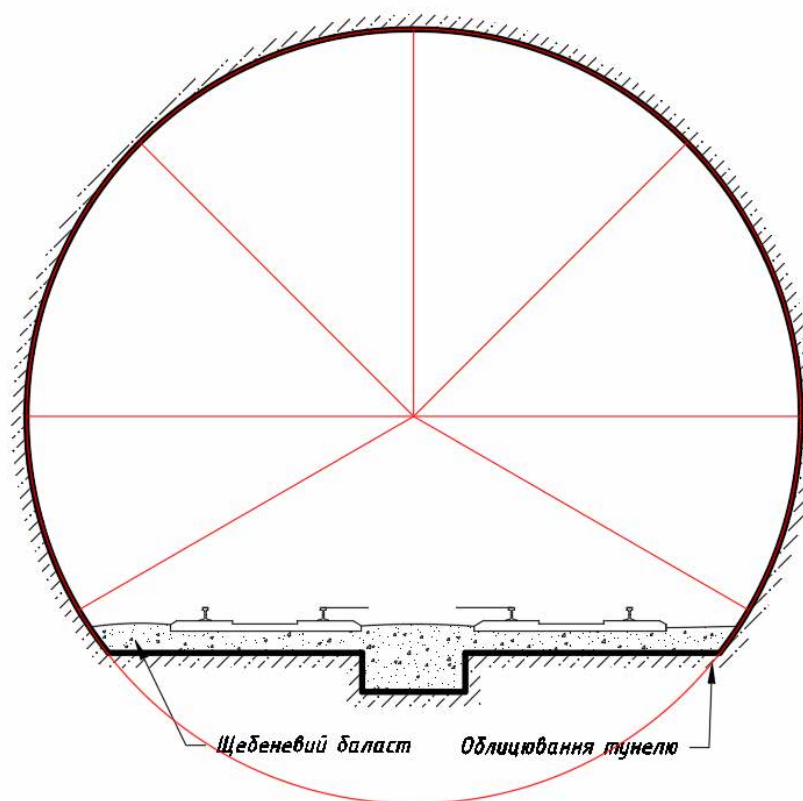


Рис. 4.8 Схема фактичного січення тунелю у поєднанні з проектним кільцем

У кінцевому кресленні треба було вказати значення деформації склепіння тунелю в міліметрах та відстань від осі тунелю до стінок тунелю. Проектна відстань від осі (центра тунелю) до стінок повинно складати 5250 мм (це радіус січення тунелю) відповідно 10500 мм діаметр кільця.

Принцип полягає у порівнянні проектного положення кільця з фактичним положенням та визначення їх різниці (рис. 4.9).

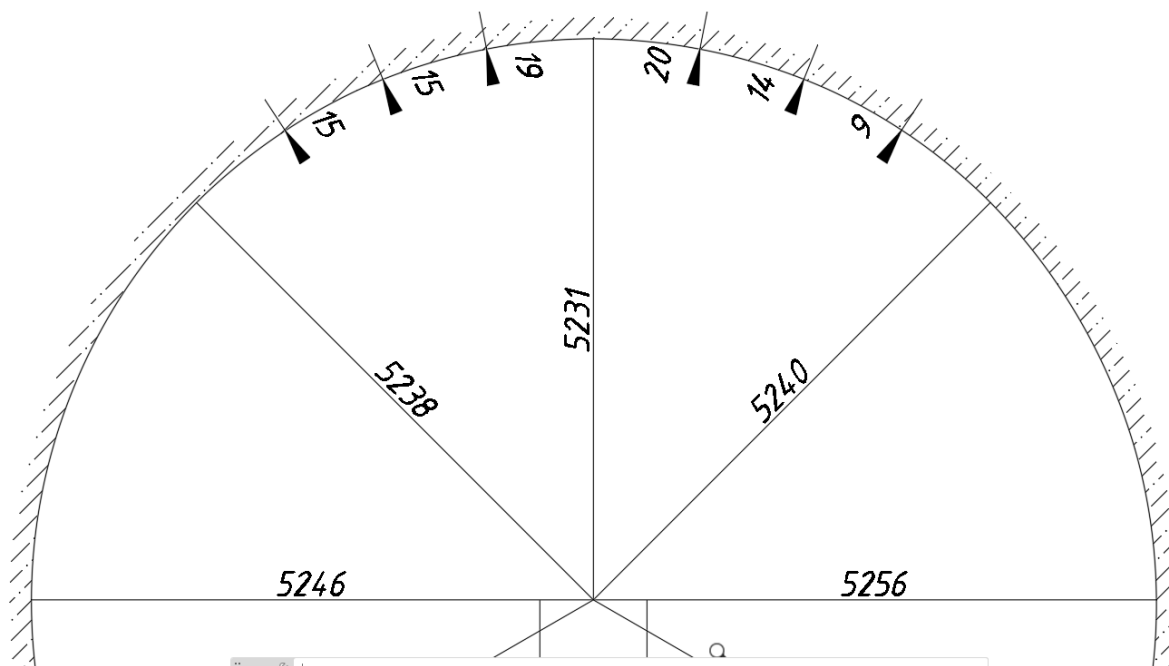


Рис. 4.9 Схема порівняння проектного положення тунелю від фактичного на ПК17+58

Рисунок 4.9 говорить нам про те що склепіння тунелю осіло на ± 15 мм у порівнянні із проектним положенням тунелю. Також можемо спостерігати що відстань від осі тунелю до фактичного облицювання тунелю також змістилось у різних місцях по різному, відповідно до схеми на рисунку 4.7 радіуси R1, R2, R3, R7 і R8 мають різницю із проектним положенням (5250мм).

$$R1 - (5231-5250) = -19\text{мм}$$

$$R2 - (5240-5250) = -10\text{мм}$$

$$R3 - (5256-5250) = +6\text{мм}$$

$$R7 - (5246-5250) = -4\text{мм}$$

$$R8 - (5238-5250) = -12\text{мм}$$

Побудовані поперечні креслення та повздовжній профіль свідчать про наявність деформацій в окремих елементах тунелю. Креслення можуть використовуватися для визначення технічного стану елементів тунелю.

Пакет оформлених креслень прикріплені нижче у Додатку Д.

ВИСНОВКИ

У процесі виконання магістерської роботи проведено повний комплекс геодезичних робіт, спрямованих на моніторинг деформацій залізничного тунелю із застосуванням технології лазерного сканування у поєднанні з традиційними методами вимірювання.

На початковому етапі було перевірено існуючу геодезичну основу, створену раніше для будівництва об'єкта. Для забезпечення достовірності подальших спостережень виконано контрольні вимірювання на пунктах геодезичної основи, що підтвердили їх стабільність і придатність для розвитку мережі спостережень.

Далі проведено нівелювання III класу та тахеометричні спостереження по пунктах тунельної полігонометрії. Ці роботи дали змогу уточнити висотні та планові координати контрольних пунктів і створити точну геодезичну базу для подальшого спостереження.

Після цього було виконано наземне лазерне сканування тунелю, у результаті якого отримано детальну хмару точок з високою щільністю. Сканування дозволило зафіксувати фактичне положення облицювання тунелю та геометрію колійного полотна з міліметровою точністю.

Камеральний етап полягав у комплексному опрацюванні матеріалів усіх спостережень. У програмному забезпеченні Leica CR 360 виконано реєстрації. Та зведення сканів, а в AutoCAD побудовано повздовжній профіль положення колії та склепіння тунелю, а також з десятків поперечних розрізів облицювання. Отримані високоточні 2D-креслення відображують фактичний стан конструкції та дозволяють чітко виявити деформації склепіння у визначених ділянках.

Отримані результати доводять, що технологія лазерного сканування у поєднанні з класичними геодезичними методами є високоефективним інструментом моніторингу протяжних інженерних об'єктів. Такий підхід забезпечує високу точність, оперативність і скорочення термінів підготовки звітної документації, що робить його особливо доцільним при спостереженні зі тунельними спорудами та іншими об'єктами транспортної інфраструктури.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Закон України «Про топографо-геодезичну та картографічну діяльність» від 23 грудня 1998 р. № 353-XIV.
2. Постанова Кабінету Міністрів України «Деякі питання застосування геодезичної системи координат» від 22 вересня 2004 р. № 1259.
3. Основні положення створення Державної геодезичної мережі України, затверджені постановою КМУ від 06.06.1998 р. № 844.
4. Інструкція з обстеження та оновлення пунктів Державної геодезичної мережі України, Укргеодезкартографія, 2000 р.
5. Інструкція про типи центрів геодезичних пунктів, ГКНТА-2.01-93, 1994 р.
6. Інструкція по обчислення нівелювання (ГКИНП-13) — М.: Недра, 1971 р.
7. Інструкція по нівелюванню I, II, III и IV класа — М.: Недра, 1990 р.
8. Інструкція по складання каталогів висот пунктів нівелювання (ГКИНП-15) М.: Недра, 1971 р.
9. Інструкція про порядок контролю і прийняття топографо-геодезичних та картографічних робіт, Укргеодезкартографія, 2000 р.
10. Технічний звіт про виконання інженерно-геодезичних вишукувань «Створення геодезичної основи під будівництво тунелю в районі станції Бескид, Львівської залізниці», ТОВ «ОРДО» (м. Жовква), Львів – 2012 р.
11. Jia, D.; Zhang, W.; Liu, Y. *Systematic Approach for Tunnel Deformation Monitoring with Terrestrial Laser Scanning* (Remote Sensing, 2021) — щодо методики реєстрації хмар точок і аналізу конвергенції (<https://doi.org/10.3390/rs13173519>).

12. Hu, D.; ін. *Experiment and Application of NATM Tunnel Deformation Monitoring based on 3D Laser Scanning* (2023) — про повністю просторовий підхід до моніторингу тунелів. (<https://doi.org/10.1155/2023/3341788>).

13. Camará, M.; ін. *Tunnel Cross-Section Deformation Monitoring Based on Mobile Laser Scanning* (2024) — моніторинг поперечних профілів тунелю. (<https://doi.org/10.3390/s24227192>).

14. Li, R.; Zhang, Z.; Gao, Y.; ін. *A New Method for Deformation Monitoring of Structures by PPP* (Remote Sensing, 2023) — щодо застосування PPP GNSS у моніторингу споруд. (<https://doi.org/10.3390/rs15245743>).

15. Yu, J.; ін. *Global Navigation Satellite System-based positioning* (Wiley, 2020) — про GNSS як інструмент моніторингу споруд. (<https://doi.org/10.1002/stc.2467>).

16. НГЦ Принцип Лазерного Сканування (https://ngc.com.ua/ua/info/whats_hds.html).

17. Про затвердження Інструкції з топографічного знімання у масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 та 1:500 (ГКНТА-2.04-02-98) Документ z0393-98, поточна редакція — Редакція від 28.09.1999, підстава - [z0653-99](https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0393-98#Text) <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0393-98#Text>

18. ДСТУ Б В.2.1-30:2014 «Основи та фундаменти будівель і споруд. Метод вимірювання деформацій» — Редакція від 01.10.15, <https://ukrmts.com/docsdb/89930.html>

19. Показчик нормативно-правових актів з питань охорони праці, виклавши його в новій редакції Документ v0074811-12, поточна редакція — Редакція від 19.01.2015, підстава - v0006811-15 <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0074811-12#Text>

20. ZakPOS мережа референцих GNSS станцій zakpos.zakgeo.com.ua

21. Leica ScanStation P20 — Leica Geosystems AG <https://www.leica.kiev.ua/leica-scanstation-p20.html>;

22. GNSS-приймач Alpha-Geo NetBOX1
<https://www.alphageo-info.com/gnss-receiver;>
23. Електронний тахеометр GeoMAX Zoom 80 R1 — *GeoMAX AG*
[https://ageotech.kz/;](https://ageotech.kz/)
24. Цифровий нівелір Sokkia SDL-30 — *Sokkia Co. Ltd.*
<https://geo-laser.com.ua/ua/niveliry-lasernye-i-opticheskie/cifrovye-niveliry/sdl30>
25. *Leica Cyclone* — для обробки хмар точок;
<https://leica-geosystems.com/ua/products/laser-scanners/software/leica-cyclone/designing-the-next-generation-reality-capture-workflow>
26. *Trimble Business Center* — для обробки GNSS-спостережень.
<https://heavyindustry.trimble.com/en/products/trimble-business-center>
27. ІЕС 60825:2014 — Класифікація лазерних пристроїв (для Leica P20).
28. IP54 (ІЕС 60529) — Клас захисту корпусів від пилу та вологи.
29. Becerik-Gerber B, Jazizadeh F, Kavulya G et al (2011) Assessment of target types and layouts in 3D laser scanning for registration accuracy. *Autom Constr* 20:649–658. (<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2010.12.008>).
30. Besl P, McKay HD (1992) A method for registration of 3-D shapes. *IEEE Trans Pattern Anal. Mach Intell* 14:239–256. (<https://doi.org/10.1109/34.121791>).
31. Carranza-Torres C, Fairhurst C (2000) Application of the Convergence-Confinement method of tunnel design to rock masses that satisfy the Hoek-Brown failure criterion. *Tunn Undergr Space Technol* 15:187–213. ([https://doi.org/10.1016/S0886-7798\(00\)00046-8](https://doi.org/10.1016/S0886-7798(00)00046-8)).
32. Chae BG, Ichikawa Y, Jeong GC et al (2004) Roughness measurement of rock discontinuities using a confocal laser scanning microscope and the Fourier spectral analysis. *Eng Geol* 72:181–199. (<https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2003.08.002>).
33. Dehghan AN, Shafiee SM, Rezaei F (2012) 3-D stability analysis and design of the primary support of Karaj metro Tunnel: based on convergence data and

back analysis algorithm. *Eng Geol* 141–142:141–149. (<https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2012.05.008>).

34. Deng G, Cahill L (1993) An adaptive Gaussian filter for noise reduction and edge detection. In: 1993 IEEE conference record nuclear science symposium and medical imaging conference. IEEE, pp 1615–1619.

35. Forest J, Salvi J (2002) A review of laser scanning three-dimensional digitisers. In: IEEE/RSJ international conference on intelligent robots and systems, vol 71, pp 73–78.

36. Gikas V (2012) Three-dimensional laser scanning for geometry documentation and construction management of highway tunnels during excavation. *Sensors (Basel)* 12:11249–11270. (<https://doi.org/10.3390/s120811249>).

37. Gutiérrez F, Benito-Calvo A, Carbonel D et al (2019) Review on sinkhole monitoring and performance of remediation measures by high-precision leveling and terrestrial laser scanner in the salt karst of the Ebro Valley, Spain. *Eng Geol* 248:283–308. (<https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2018.12.004>).

38. Han J-Y, Guo J, Jiang Y-S (2013) Monitoring tunnel profile by means of multi-epoch dispersed 3-D LiDAR point clouds. *Tunn Undergr Space Technol* 33:186–192. (<https://doi.org/10.1016/j.tust.2012.08.008>).

39. Kolymbas D (2005) *Tunnelling and tunnel mechanics: a rational approach to tunnelling*. Springer Science, Business Media.

40. Kontogianni VA, Stiros SC (2005) Induced deformation during tunnel excavation: evidence from geodetic monitoring. *Eng Geol* 79:115–126. (<https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2004.10.012>).



41. Lindenbergh R, Pfeifer N, Rabbani T (2005) Accuracy analysis of the Leica HDS3000 and feasibility of tunnel deformation monitoring. In: Proceedings of the ISPRS workshop, Laser scanning, vol 3.

42. Mitra NJ, Nguyen A (2003) Estimating surface normals in noisy point cloud data. In: Proceedings of the nineteenth annual symposium on computational geometry, pp 322–328.

43. MOHURD (2014) Standard for engineering classification of rock mass (GB/T 50218–2014). Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China, Beijing, China.
44. Mukupa W, Roberts GW, Hancock CM et al (2017) A review of the use of terrestrial laser scanning application for change detection and deformation monitoring of structures. *Surv Rev* 49:99–116. (<https://doi.org/10.1080/00396265.2015.1133039>).
45. Nuttens T, Stal C, De Backer H et al (2014) Methodology for the ovalization monitoring of newly built circular train tunnels based on laser scanning: Liefkenshoek Rail Link (Belgium). *Autom Constr* 43:1–9. (<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.02.017>).
46. Wang W, Zhao W, Huang L, Vimarlund V et al (2014) Applications of terrestrial laser scanning for tunnels: a review. *J Traffic Transp Eng* 1:325–337. ([https://doi.org/10.1016/S2095-7564\(15\)30279-8](https://doi.org/10.1016/S2095-7564(15)30279-8)).
47. Xie X, Zeng C (2012) Non-destructive evaluation of shield tunnel condition using GPR and 3D laser scanning. In: 14th international conference on ground penetrating radar (GPR), 2012, pp 479–484.
48. Xie X, Lu X (2017) Development of a 3D modeling algorithm for tunnel deformation monitoring based on terrestrial laser scanning. *Undergr Space* 2(1):16–29.
49. Yang H, Omidalizarandi M, Xu X et al (2017) Terrestrial laser scanning technology for deformation monitoring and surface modeling of arch structures. *Compos Struct* 169:173–179. (<https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2016.10.095>).
50. Yue D, Wang J, Zhou J et al (2010) Monitoring slope deformation using a 3-D laser image scanning system: a case study. *Min Sci Technol* 20:898–903. ([https://doi.org/10.1016/s1674-5264\(09\)60303-3](https://doi.org/10.1016/s1674-5264(09)60303-3)).

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

МІНЕКОНОМІКИ Державне підприємство "Івано-Франківський науково-виробничий центр стандартизації, метрології та сертифікації" 76007, м. Івано-Франківськ, вул. Вовчинецька, 127 Свідоцтво про уповноваження № 1	Метрологічні характеристики приймача GNSS NetBox I; зав. №
СВІДОЦТВО про повірку законодавчо регульованого засобу виміральної техніки	Належить: Довірі границі абсолютної похибки вимірювання відстаней у статичі в плані до 50 км при довірчій ймовірності $p=0,95$ Одержане значення MX : $\pm(2,5+1 \cdot 10^{-6} \cdot L)$ мм $\pm(5+1 \cdot 10^{-6} \cdot L)$ мм
№ <u>0715/м</u> Чинне до <u>02</u> червня <u>2024</u> р. Назва та умовне позначення <u>Приймач GNSS NetBox I</u> Зав. № _____	Довірі границі абсолютної похибки вимірювання відстаней у режимі RTK в плані до 50 км при довірчій ймовірності $p=0,95$ Одержане значення MX : $\pm(8+1 \cdot 10^{-6} \cdot L)$ мм $\pm(15+1 \cdot 10^{-6} \cdot L)$ мм L- відстань, що вимірюється в мм
Виробник <u>Фірмою «Alpha-Geo», Китай</u> За результатами повірки встановлено, що засіб виміральної техніки (далі – ЗВТ) відповідає вимогам <u>МПУ 225/01-2008</u> (назва нормативно-правового акта, Інструкція по експлуатації приймачів GNSS NetBox I що містить вимоги до метрологічних характеристик і позначення метрологічних <u>на звороті</u> характеристик (клас точності, похибки, плановані вимірювань), особливості застосування ЗВТ)	
Додаток на <u>1</u> стор. у <u>1</u> прим. Персонал, який виконував роботи з повірки  (підпис)  Відбув відбітка повірочного тавра	

МІНЕКОНОМІКИ

Державне підприємство «Івано-Франківський науково-виробничий центр стандартизації, метрології та сертифікації»

76007, м. Івано-Франківськ, вул. Вовчинецька, 127

Свідоцтво про уповноваження № П-29-2019 видано 27.06.2019р.

СВИДОЦТВО

про повірку законодавчо регульованого засобу вимірювальної техніки

№ 321

Назва та умовне позначення Тахеометр електронний

GeoMax Zoom 80 R1" A10 Зав.№ _____

Виробник "GeoMax AG", Швейцарія

За результатами повірки встановлено, що засіб вимірювальної

техніки (далі-ЗВТ) відповідає вимогам МПУ 341/01-2013: Розділ ЕД
(назва нормативно-правового акта),

Середня квадратична похибка вимірювання горизонтального і

вертикального кута - ± 2"; Δ - ± (3+2.0 × 10⁻⁶L, де L- мм) до 1300м.

метрологічних характеристик (клас точності, похибки, діапазони вимірювань),

особливості застосування ЗВТ)

Додаток: на 1 стор. у 1 прим.

Персонал, який виконував
роботи з повірки

К. В. Корж
(підпис)

М. В. Корж
(ініціали, прізвище)

Місце відбитка
повірочного тавра



"19" квітня 2024р.

Протокол № 321

від 19.04.2024р. результатів повірки тахеометра електронного
GeoMax Zoom 80 R1" A10 №952668

Назва метрологічної характеристики (M _x)	Одержане значення (M _y)
Довірчі границі абсолютної похибки вимірювання відстаней до 1300 м при P=0,95, де L- відстань, вимірюється в мм.	± (1.0+2.0×10 ⁻⁶ L) мм
Середня квадратична похибка вимірювання горизонтального кута	± 1.0"
Середня квадратична похибка вимірювання вертикального кута	± 1.0"

За результатами повірки тахеометра електронного GeoMax Zoom 80 R1" A10 №952668 (протокол №321 від 19.04.2024р.) визначається придатним до застосування і відповідає експлуатаційній документації фірми виробника.

Персонал, який виконував
роботи з повірки

К. В. Корж
(підпис)

М. В. Корж
(ініціали, прізвище)



МІНЕКОНОМІКИ
 ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО
 «ВСЕУКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ НАУКОВО-ВИРОБНИЧИЙ
 ЦЕНТР СТАНДАРТИЗАЦІЇ, МЕТРОЛОГІЇ, СЕРТИФІКАЦІЇ
 ТА ЗАХИСТУ ПРАВ СПОЖИВАЧІВ»
 (ДП «УКРМЕТРТЕСТСТАНДАРТ»)

вул. Метрологічна, 4, м. Київ, 03143
 Свідоцтво про уповноваження № П-9-2019

СВІДОЦТВО
 про повірку законодавчо регульованого засобу вимірювальної техніки

№

Назва та умовне позначення

Нівелір високоточний електронний SDL30 Зав. № 11048

Виробник **"Sokkia Co. Ltd", Японія**

За результатами повірки встановлено, що засіб вимірювальної техніки (далі ЗВТ) відповідає вимогам

ДСТУ 8926:2019 "Нівеліри та прилади вертикального проектування оптико-механічні, цифрові, лазерні й рейки нівелірні. Метрологічні та технічні вимоги"

Назва метрологічної характеристики	Клас точності	Значення нормованої метрологічної харак-ки
Середня квадратична похибка вимірювання перевищення на 1 км подвійного нівелірного ходу (оптичний режим):	A1	1,0 мм
Середня квадратична похибка вимірювання перевищення на 1 км подвійного нівелірного ходу (електронний режим):	A1	0,6 мм

Додаток на стор. у прим.

Персонал, який виконав
 роботу з повірки



Володимир ЗАСЦЬ

підпис

Місце надбитка повірочного тавра

19 жовтня 2023 р.