

Олександр РОМАНИШИН*, Ігор САВЧИН

Кафедра вищої геодезії та астрономії, Національний університет "Львівська політехніка", вул. С. Бандери, 12, Львів, 79013, Україна, ел. пошта: *oleksandr.i.h.romanyshyn@lpnu.ua, <https://orcid.org/0009-0001-4204-2394>; ihor.r.savchyn@lpnu.ua, ¹<https://orcid.org/000-0002-5859-1515>

<https://doi.org/10.23939/istecap2025.101.017>

ВІРТУАЛЬНА ІСТОРИКО-АРХІТЕКТУРНА РЕКОНСТРУКЦІЯ КАПЛИЦІ-УСИПАЛЬНІ ГРАФА СКАРБКА

Мета. Фіксація актуального стану каплиці-усипальні графа С. Скарбка та здійснення її віртуальної історико-архітектурної реконструкції. Для досягнення цієї мети застосовано методи наземного лазерного сканування, фото- та відеофіксації, а також аналіз архівних джерел. Робота спрямована на збереження пам'ятки для майбутніх поколінь та створення основи для подальших реставраційних досліджень. *Методика.* Для дослідження застосовано комплекс методів: виконано наземне лазерне сканування каплиці сканером Trimble TX6, фото- та відеофіксацію об'єкта, зібрано історичні та архівні матеріали. Оброблення даних здійснено в програмних комплексах Trimble RealWorks і Autodesk ReCap Pro для створення тривимірної хмари точок. На основі отриманої моделі у середовищі Autodesk Revit виконано побудову віртуальної історико-архітектурної реконструкції з рівнем деталізації LOD300, доповненої архівною інформацією для відтворення втрачених елементів. *Результати.* У результаті виконаних досліджень створено високоточну тривимірну модель каплиці-усипальні графа С. Скарбка з точністю 2–5 мм, що фіксує її фактичний стан. Побудовано віртуальну реконструкцію об'єкта в історичному вигляді, яка об'єднує збережені та втрачені елементи архітектури. Отриманою моделлю можна скористатися для подальших наукових досліджень, реставраційних робіт та заходів зі збереження культурної спадщини. *Наукова новизна та практична значущість.* Розроблено комплексний підхід до віртуальної реконструкції зруйнованих пам'яток архітектури, що передбачає інтеграцію даних наземного лазерного сканування із аналізом архівних матеріалів. Запропоновано ефективну методику для відтворення історичних об'єктів в умовах обмеженої вихідної інформації, що актуально за сучасних викликів у сфері охорони культурної спадщини.

Ключові слова: віртуальна реконструкція, наземне лазерне сканування, культурна спадщина, каплиця-усипальниця, 3D-модель, архітектурна фіксація.

Вступ

Відомий львівський землевласник та меценат граф Станіслав Скарбек (герб "Абданк") народився 20 листопада 1780 року [Dunin-Borkowski, 1908] в селі Обертин біля Коломиї. У 1833 р. [Гуменний, 2016], власним коштом, граф розпочинає будівництво нового театру в місті Львові. 28 березня 1842 року вперше відчинилися двері театру Скарбка, "Галицької Ла Скали", сьогодні відомого як Національний академічний драматичний театр імені Марії Заньковецької. В 1842 р. Станіслав Скарбек заснував "Доброчинний інститут для сиріт та убогих" у селі Заклад, відкритий у 1846 р. [Старша, 2024]. Помер граф 27 жовтня 1848 року, похований на Личаківському кладовищі, а в 1888 р. перепохований в родинній каплиці-усипальні в Закладському лісі (рис. 1).

Каплиця-усипальниця графа Скарбка збудована в неоготичному стилі у 1887 р. у лісі поблизу села Заклад (49.546327, 23.958497)

Стрийського району Львівської області, неподалік містечка Миколаїв посеред старого, понівеченого і розграбованого кладовища. У 1937 р. до каплиці вперше вдерлися злодії [Rossowski, 1937], а у 1939 р. її понищили радянські окупанти [Кутернога, 2004], розікравши святині та викинувши рештки тіл із кriptи. У 1945 р. мародери спустошили залишки каплиці та кладовище навколо неї. Навесні 2009 р. обвалився пірамідоподібний дах каплиці.

Сьогодні каплиця-усипальня у напівзруйнованому стані, з кожним днем все сильніше обвалюється. Очевидно, невдовзі вона залишиться лише на фотографіях, малюнках та в літературних джерелах. Зважаючи на важливий історичний вплив графа Скарбка на Львівщину, а також на історико-культурне значення каплиці, ми вирішили виконати комплекс робіт із метою віртуальної історико-архітектурної реконструкції каплиці для фіксації актуального стану та збереження її вигляду для наступних поколінь.

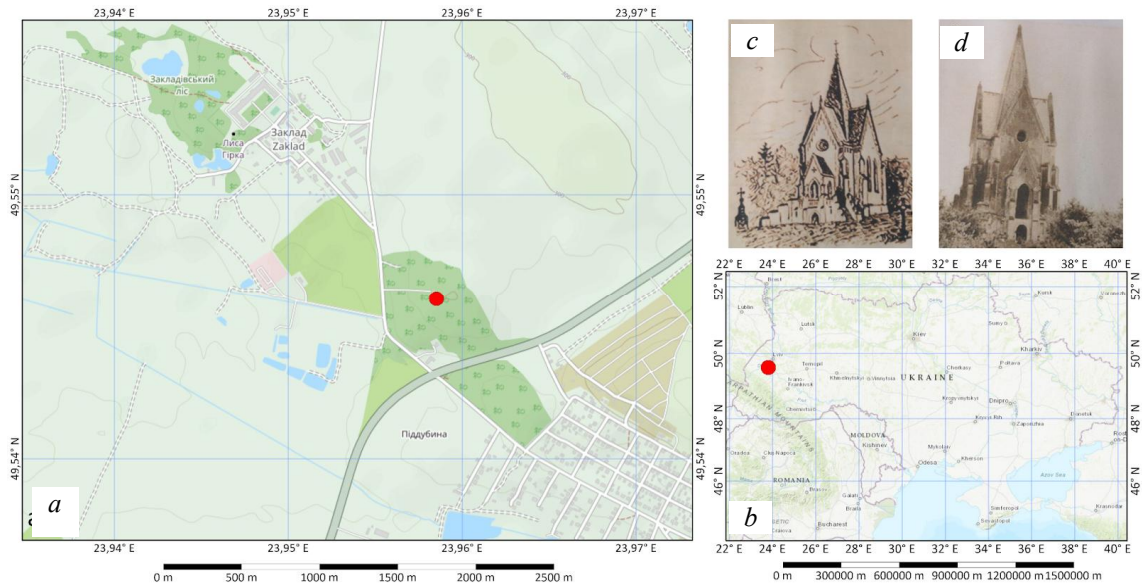


Рис. 1. Розташування (а та б) та вигляд каплиці-усипальниці графа Скарбка: с – архівне зображення [Petryk et al., 2019]; d – фотографія каплиці в 1958 р. [Petrenko & Bilousko, 2012]

Сьогодні існує багато методів фіксації архітектурних пам'яток. Класичні методи – архітектурне обмірювання, фото- та відеофіксація, фотограмметрія. До сучасніших методів фіксації зараховують наземне лазерне сканування, георадарні вимірювання, аерознімання з БПЛА та ГНСС-вимірювання.

Архітектурне обмірювання є класичним методом фіксації архітектурних пам'яток. Виконуючи вимірювання за характерними точками, можна відобразити архітектурний об'єкт у вигляді креслень. Точність цього методу залежить від вибраних інструментів. Обмірювання, виконане лазерними рулетками та віддалемірами, буде точнішим, ніж звичайною рулеткою. Сьогодні це основний метод фіксації архітектурних пам'яток, він широко застосовується на практиці, оскільки дає змогу без значних фінансових затрат зафіксувати об'єкт. Креслення архітектурного обміру можна побачити в сучасних паспортах об'єктів культурної спадщини, це обов'язкові візуальні відомості про об'єкт [Прибега, 2003].

Фото- та відеофіксація пам'яток дає змогу легко та швидко зафіксувати архітектурний об'єкт. Використовуючи знімання з БПЛА, можна отримати дуже якісні й детальні знімки архітектурних пам'яток, необхідні насамперед для фіксації високих об'єктів, а також місць, які не видно з землі. Фото- та відеофіксація пам'яток дуже актуальні в умовах війни, бо за допомогою

цього методу можна швидко зафіксувати пам'ятки, розміщені в зоні бойових дій або поблизу неї, а за допомогою БПЛА навіть ті, які тимчасово опинились в окупації [Ковалевський, 2023].

Фотограмметричні вимірювання дають змогу фіксувати не тільки форму, але і фактуру, колір та матеріал об'єкта. Сучасна цифрова фотограмметрія – економічний, точний та мобільний метод фіксації. У [Веприцька, 2016] використано фотограмметричний метод для фіксації залишків Генуезької фортеці в місті Феодосія та створення тривимірної моделі вежі Костянтина (комплекс Генуезької фортеці). Фотограмметричний метод також часто використовують для моніторингу та фіксації археологічних пам'яток [Кузик та ін., 2017; Жигола, Скороход, 2019].

Методика

Для віртуальної історико-архітектурної реконструкції каплиці-усипальні використано наземне лазерне сканування – найперспективніший сьогодні метод фіксації архітектурних пам'яток, високоточний, детальний та мобільний. Точність наземного лазерного сканування дає змогу визначати крени історичних об'єктів [Шульц та ін., 2015]. Цей метод широко застосовують для фіксації стану архітектурних пам'яток та створення Historic Building Information Modeling (HBIM) [Білов, 2023]. Моделі, побудо-

вані на основі наземного лазерного сканування, успішно використовують для збереження та відновлення історичних пам'яток [Savchyn et al., 2023]. Метод дедалі ширше застосовують для фіксації природних утворень, а саме печер [Bubniak et al., 2023] та відслонень [Маліцький та ін., 2017]. З початком широкомасштабної війни в Україні актуалізувались збереження та фіксація історичних та культурних об'єктів спадщини. Наземне лазерне сканування, а також його комбінації є оптимальним методом не лише для збереження об'єктів культурної спадщини, але й для їх відновлення [Шумаков et al., 2023; Товбич, Попович, 2023; Терещук,

2024). Всі оцифровані цим методом пам'ятки доцільно об'єднати в одному архіві історичних пам'яток, щоб згодом відновити будь-яку із них, адже наземне лазерне сканування дає змогу створити точну 3D-копію об'єкта [Нещадим, 2023].

Методика

Для здійснення віртуальної історико-архітектурної реконструкції каплиці-усипальні графа Скарбка, а також для фіксації актуального стану та збереження її вигляду для наступних поколінь запропоновано методику досліджень, блок-схему якої наведено на рис. 2.

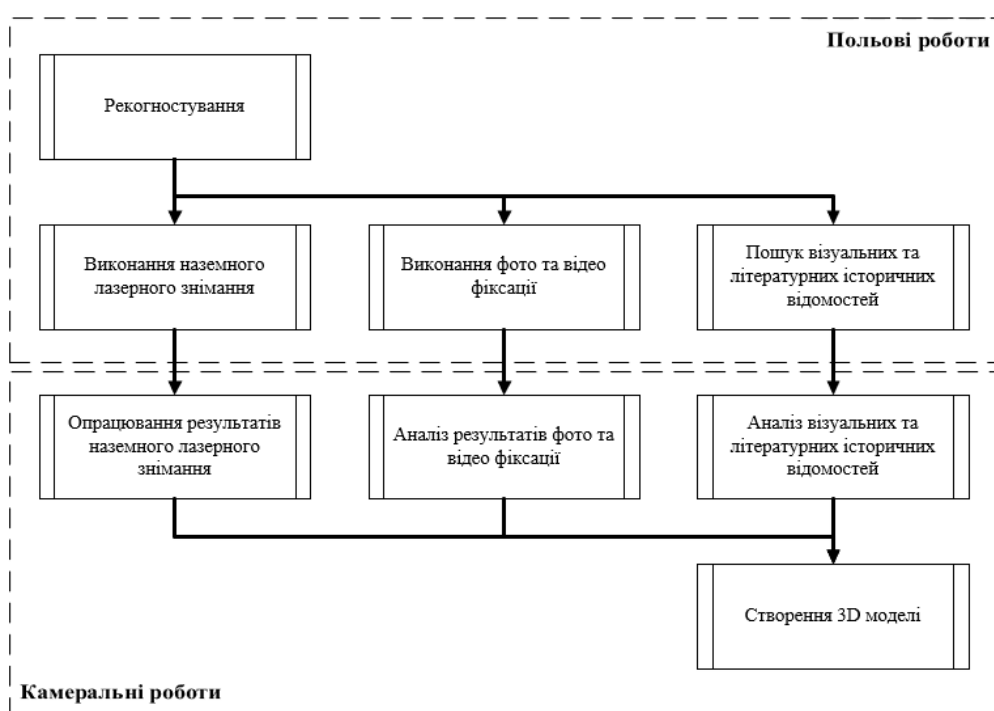


Рис. 2. Блок-схема проведення досліджень

Згідно з блок-схемою, дослідження поділено на дві частини: польову та камеральну. Польова робота передбачає розвідку, наземне лазерне сканування, фото- та відеодокументацію, а також пошук архівної інформації про каплицю. Камеральна робота передбачає опрацювання результатів, отриманих різними методами, та створення віртуальної історико-архітектурної реконструкції каплиці-усипальниці графа Скарбка. Основний метод збирання даних – наземне лазерне сканування, доповнене фото- та відеодокументацією для детальнішого відтворення важкодоступних ділянок та полегшення моделювання. Для

реконструкції втрачених частин споруди запропоновано використовувати архівні фотографії та ілюстрації, а також літературні посилання, які можуть містити конкретну інформацію про те, як виглядали різні частини будівлі.

Результати

Під час рекогностування каплиці-усипальні графа Скарбка та прилеглої території, яке відбулося 7 жовтня 2024 року, зроблено фотографії та відео каплиці. У сільській раді села Заклад зібрано деякі історичні відомості про каплицю, а також архівні візуальні матеріали.

Наземне лазерне сканування каплиці-усипальні графа Скарбка виконано 9 жовтня 2024 року, в ясну погоду за температури 12–14 °С. Виконано знімання з 22 станцій, що дало змогу охопити як зовнішній периметр архітектурної

пам'ятки, так і ситуацію всередині. Сканування здійснено сканером Trimble TX6 (точність вимірювання до 2 мм, дальність сканування до 80 м). Схему розташування станцій сканування наведено на рис. 3.

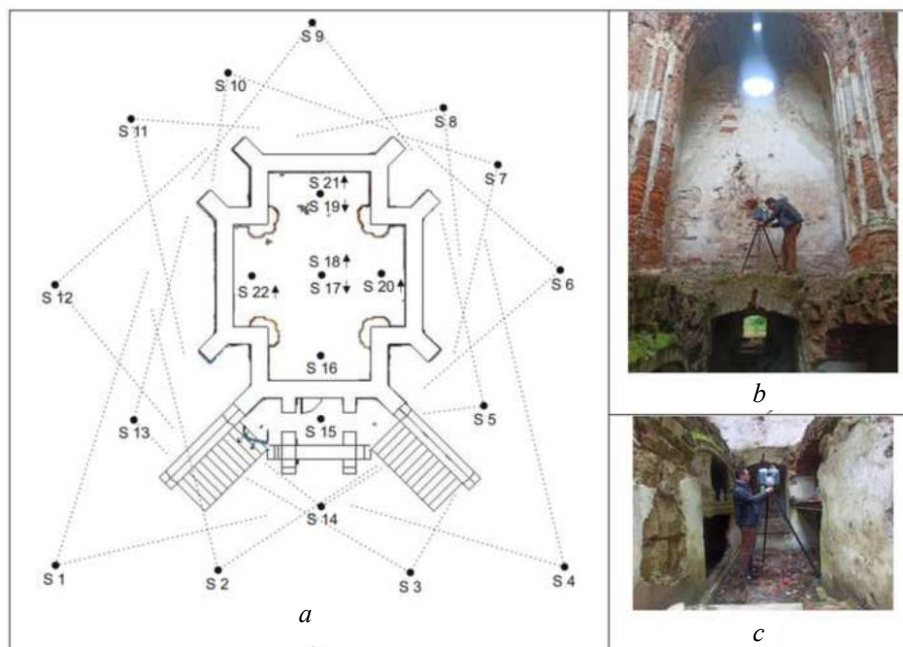


Рис. 3. Схема розташування станцій під час наземного лазерного сканування каплиці-усипальні графа Скарбка

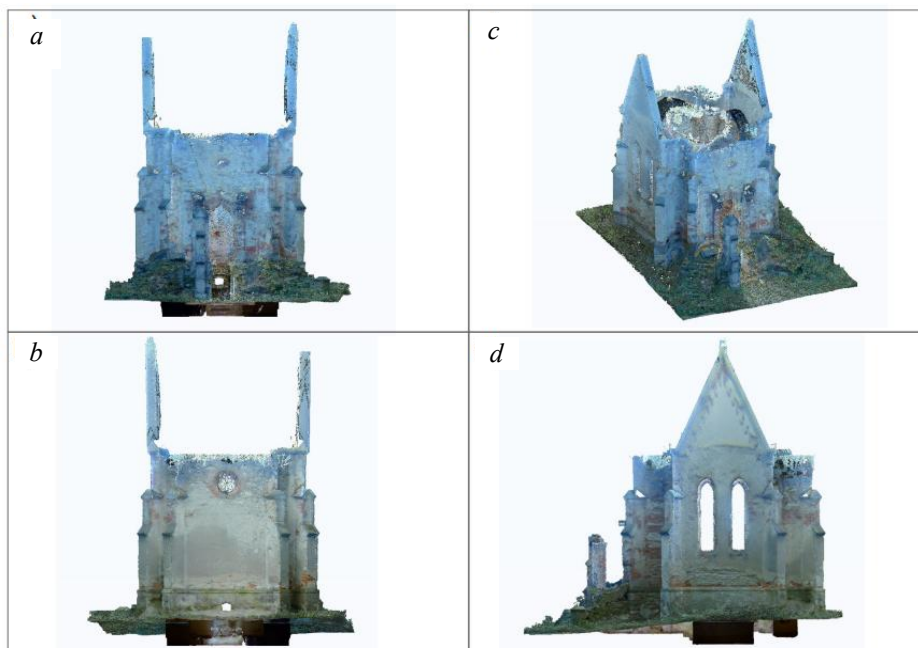


Рис. 4. Тривимірна точкова модель каплиці-усипальні графа Скарбка: а – фронтальна проєкція; б – задня проєкція; с – загальний вигляд каплиці-усипальні; д – бокова проєкція

Опрацювання результатів наземного лазерного сканування виконано у спеціалізованому програмному забезпеченні Trimble RealWorks [Trimble (n. d.)]. Основною перевагою цього програмного забезпечення є те, що воно дає змогу швидко та якісно обробляти великі обсяги геопросторових даних, зібраних обладнанням компанії Trimble. Для очищення отриманої тривимірної хмари точок використано спеціалізоване програмне забезпечення Autodesk ReCap Pro [Autodesk (n. d.)], котре дає можливість зручно та швидко працювати із хмарами точок та очищувати їх від зайвих елементів та випадкових шумів. Створену тривимірну точкову модель каплиці-усипальні графа Скарбка наведено на рис. 4.

Враховуючи технічні характеристики використаного обладнання, а також особливості опрацювання, можна стверджувати, що побудована тривимірна точкова модель (див. рис. 4) забезпечує доволі високу точність відображення, яка становить 2–5 мм.

Ця тривимірна точкова модель (див. рис. 4) стала основою для побудови віртуальної історико-архітектурної реконструкції каплиці-усипальні графа Скарбка, яка передбачала три основні етапи:

- побудову твердотілої моделі фактичного стану каплиці;
- доповнення моделі за допомогою дублювання симетричних збережених елементів;
- доповнення моделі із моделюванням відсутніх елементів на основі знайдених історичних відомостей про каплицю, а також архівних візуальних матеріалів.

Всі моделювання виконували у спеціалізованому програмному забезпеченні Autodesk Revit. Загальна методика роботи полягала у створенні проєктних видів на планах характерних опорних рівнів та перетинів задля точної прив'язки елементів конструкцій. Створено близько 12 опорних планів та 30 перетинів у просторі моделі. Глибину проєктування планів та перетинів вибирали в межах 3–5 см, залежно від щільності хмари точок у кожному окремому випадку для створення чіткого контуру конструкції. Форму та розмір елементів моделювання вибирали відповідно до значень, отриманих із тривимірної точкової моделі (див. рис. 4). Варто зазначити, що моделювання виконували із використанням level of detail – LOD300 (ISO 19650-1:2018), тобто відображали основні гео-

метричні форми, але меншими елементами, або непринциповими формами нехтували.

Для побудови твердотілої моделі фактичного стану каплиці-усипальні графа Скарбка використано елементи із Autodesk Revit. Для моделювання збережених стін та колон каплиці – елемент “Wall”. Під час моделювання стін та колон нехтували їх незначними нерівностями, а також відхиленнями від вертикальності, оскільки невідомо, чи вони є наслідком тривалих деформацій та/або спричинені обвалом пірамідоподібного даху каплиці, чи, можливо, їх допустили під час будівництва. Для моделювання збережених арочних віконних та дверних прорізів каплиці використано елемент “Model In-Place”, “Void Forms”. Віконні прорізи (розміром приблизно 1×4 м) стрілчастої форми, як і дверні прорізи (приблизно 2,5×1,4 м). Для моделювання збережених сходових маршів каплиці використано елемент “Сходи”. Сходи двосторонні та прямі, по 11 сходинок з кожного боку, прилягають до вхідного майданчика під кутом близько 30°.

Для відтворення втрачених елементів каплиці виконано доповнення моделі за допомогою дублювання симетричних збережених елементів. Дублювання ґрунтувалось на використанні розмірів віцілених елементів каплиці та детальному аналізі знайдених історичних відомостей про каплицю [Петрик та ін., 2019], а також архівних візуальних матеріалів [Петренко, Білоусько, 2012]. Це дало змогу відтворити велику кількість повністю або частково знищених дзеркальних елементів. Для прикладу, на основі віцілених сходів та колони, розташованих ліворуч від центрального входу, відтворено форму та розташування аналогічних, але повністю знищених елементів, розміщених праворуч. А на основі невеликого збереженого елемента поручнів правої частини сходів вниз вдалося створити модель поручнів з обох боків.

Значно складнішим виявилось моделювання елементів, котрі були повністю знищені. Це пірамідоподібний дах, а також двоскатний дашок над вхідним майданчиком каплиці-усипальні графа Скарбка. Для моделювання цих елементів використано елемент “Roof”, а саме його підгрупу “Roof by Footprint”. Для отримання інформації про форму елементів використовували знайдені історичні відомості про каплицю [Петрик та ін., 2019], а також архівні візуальні матеріали [Петренко, Білоусько, 2012].

Щоб встановити розміри елементів, використовували визначені пропорції на основі тривимірної точкової моделі (див. рис. 4) та архівних візуальних матеріалів [Петренко, Білоусько, 2012]. Наприклад, для моделювання пірамідоподібного даху інформацію про висоту нижніх точок отримано з двох бокових фронтонів, які добре збереглися, та в моделі дзеркально продубльовано на передній та задній фронтони. Натомість розташування характерних точок вигину даху, а також висоти центра

піраміди (центральної точки даху) визначали пропорційно на основі архівних візуальних матеріалів [Петренко, Білоусько, 2012]. На думку авторів, попри можливість певних неточностей під час такого моделювання, використаний підхід є єдиним, що дає змогу відтворити історичний вигляд каплиці.

На рис. 5 наведено побудовану твердотілу модель, котру можна вважати віртуальною історико-архітектурною реконструкцією каплиці-усипальні графа Скарбка.

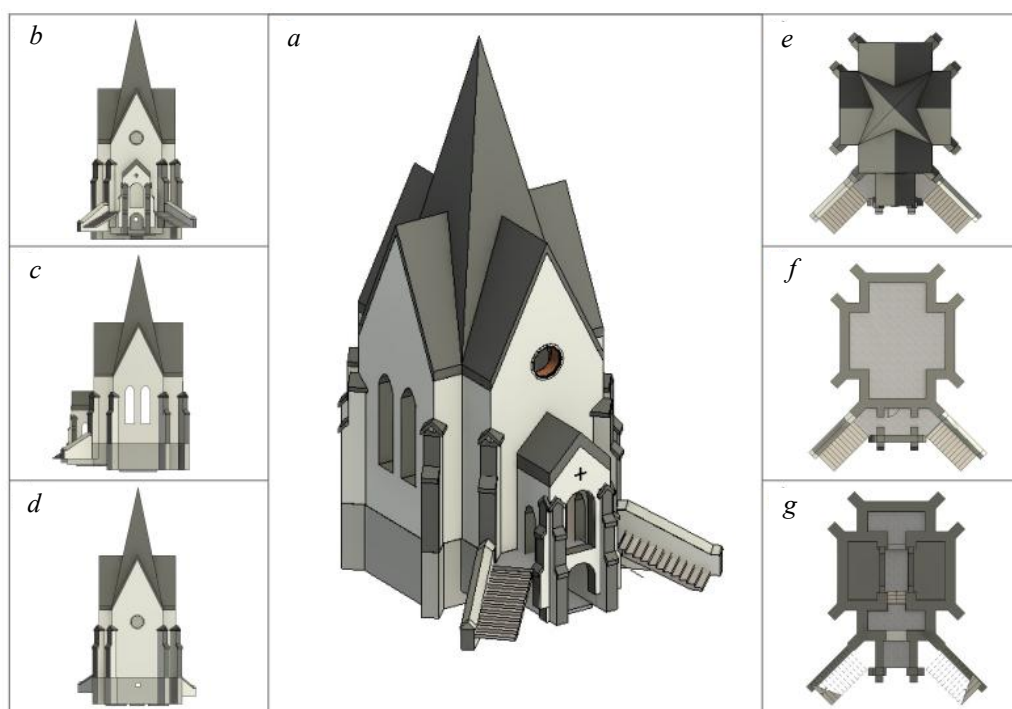


Рис. 5. Віртуальна історико-архітектурна реконструкція каплиці-усипальні Графа Скарбка
a – загальний вигляд; *b* – фронтальна проєкція; *c* – бокова проєкція; *d* – задня проєкція; *e* – вигляд зверху;
f – перший поверх в перерізі; *g* – крипта в перерізі

Враховуючи особливості моделювання, можна стверджувати, що побудована віртуальна історико-архітектурна реконструкція (див. рис. 5) забезпечує точність відображення основних елементів на рівні 2–5 мм та дає можливість побачити цілісний вигляд каплиці, без зруйнованих елементів. Ця реконструкція фіксує історичний стан каплиці та зберігає її вигляд для наступних поколінь і, очевидно, у майбутньому може стати основою для подальших реставраційних досліджень.

Дискусія

Метод побудови твердотілої моделі на основі тривимірної точкової моделі, отриманої на ос-

нові результатів наземного лазерного сканування, не є новим. Його широко використовують у сучасній інженерії, для побудови так званих BIM (Building Engineering Model). В історичному контексті його теж часто застосовують для реставрації, візуалізації та фіксації пам'яток архітектури, таких як костел святого Лазаря у Вроцлаві (Польща) [Karbowiak & Kasza, 2023] або Храму Пресвятої Богородиці Утішительки у Вільнюсі (Литва) [Bertocci et al., 2021]. Цей метод дає змогу порівняно швидко оцифровувати великі обсяги інформації та створювати моделі доволі складних пам'яток архітектури.

У цій роботі запропоновано під час моделювання історико-архітектурних об'єктів

використовувати результати наземного лазерного сканування для відтворення збережених елементів, а історичні дані для відтворення елементів, які було втрачено. Для моделювання втрачених елементів автори використовують дублювання симетричних збережених елементів, а також моделювання відсутніх елементів на основі знайдених історичних відомостей та архівних візуальних матеріалів. Подібний підхід використано у [Savchyn and Repechovych, 2024] для створення історичної віртуальної реконструкції фортеці Перемишль – I/4 Форт Марушка Ліс (Україна).

Віртуальна історико-архітектурна реконструкція каплиці-усипальні графа Скарбка відтворює її загальний вигляд, зокрема елементи, які уже повністю або частково зруйновані, а також, що не менш важливо, фіксує фактичний стан пам'ятки. Проте вибраного рівня level of detail (а саме LOD300 (ISO 19650-1:2018)) недостатньо, щоб передати всі особливості архітектури та зробити її повноцінною основою для проєкту реконструкції.

Очевидно, використання лише наземного лазерного сканування, об'єднаного з фотографіями та архівними джерелами, недостатньо для фіксації всієї інформації про пам'ятку. Через значну висоту у верхній частині каплиці ідентифіковано сліпі зони, які не були обміряні. Автори розуміють, що для досягнення більшої точності та деталізації у майбутньому можна додати результати LIDAR та аерознімання. Однак через обмеження на використання БПЛА в Україні реалізувати ці методи тимчасово неможливо.

Є достатньо позитивних практик поєднання даних, отриманих різними методами, для створення моделей високої якості та точності [Mozas-Calvache et al., 2024; Pérez-García et al., 2023].

Зважаючи на це, перспективними напрямками подальших досліджень може стати доповнення побудованої тривимірної точкової моделі результатами, отриманими за допомогою інших методів вимірювань (наприклад: LIDAR, аерознімання з БПЛА та навіть георадарні вимірювання (GPR)). Не менш цікавим напрямом дослідження можна вважати підвищення детальності віртуальної історико-архітектурної реконструкції каплиці-усипальні графа Скарбка за допомогою моделювання на вищих рівнях – LOD 350 to LOD500

(ISO 19650-1:2018), а також розроблення проєкту повноцінної реконструкції цього об'єкта.

Висновки

Каплиця-усипальня графа Станіслава Скарбка – важливий архітектурний об'єкт, що має значну історичну та культурну цінність для Львівщини (Україна). Через доволі поганий стан ця архітектурна пам'ятка потребує швидких заходів для фіксації актуального стану та збереження її вигляду для наступних поколінь. Для фіксації актуального стану каплиці та її віртуальної реконструкції використано комплекс сучасних методів, зокрема наземне лазерне сканування, фото- та відеофіксацію, а також архівні матеріали. Це дало змогу створити точну тривимірну модель, яка відображає теперішній стан пам'ятки з точністю до 2–5 мм.

Віртуальна історико-архітектурна реконструкція каплиці ґрунтується на поєднанні збережених елементів будівлі, дублюванні симетричних частин та моделюванні відсутніх елементів за допомогою історичних та архівних джерел. Це дало змогу відтворити історичний вигляд каплиці, зокрема, зруйновані елементи. Зібрані дані та створена тривимірна модель можуть стати основою для подальших реставраційних робіт, допоможуть зберегти цю архітектурну пам'ятку для майбутніх поколінь.

Подяка

Дослідження, висвітлені у цій публікації, виконано із використанням програмного та приладового забезпечення Trimble Technology Lab in Lviv Polytechnic National University. Автори висловлюють подяку Тростянецькому сільському голові, а також старості Закладського старостинського округу за повний та всеосяжний доступ до каплиці-усипальні графа Скарбка та прилеглої території, за надані історичні відомості про каплицю, а також архівні візуальні матеріали.

Список літератури

Білов, В. А. (2024). Інноваційні методи використання будівельного інформаційного моделювання (BIM) у процесі реставрації пам'яток архітектури, пошкоджених внаслідок воєнних дій. *Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки*, (6), 230–239. <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2023.6.26>

- Веприцька, К. Д. (2016). Особливості фотограмметричних досліджень архітектурно-археологічних пам'яток на прикладі решток Генуезької фортеці в м. Феодосії. *Науковий вісник будівництва*, 84(2), 44–48. <https://svc.kname.edu.ua/index.php/svc/article/view/1070>
- Гуменний В. (2016). *Львівський авантюрист і меценат, або ким був Станіслав Скарбек*. <https://photo-lviv.in.ua/lvivskyj-avantyuryst-i-metsenat-abo-kym-buv-stanislav-skarbek/>
- Жигола, В. С., & Скороход, В. М. (2019). Новітні методи фіксації в археології. *Archaeology*, (1), 118–130. <https://doi.org/10.15407/archaeologyua2019.01.118>
- Ковалевський, О. А. (2023). Особливості та перспективи застосування фото-та відеофіксації для збереження та реставрації культурної спадщини під час військової агресії в Україні. *Культурні та мистецькі студії XXI ст.: науково-практичне партнерство*: матеріали, 198. https://elib.nakkkim.edu.ua/bitstream/handle/123456789/5382/Tezy_09_11_2023-2.pdf?sequence=1&isAllowed=y#page=198
- Кузик З., Ставовий А., Ільків Т. (2017). Документування та моделювання археологічних об'єктів засобами цифрової фотограмметрії. *Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва*, (1), 125–130. <https://zgt.com.ua/%d0%b2%d0%b8%d0%bf%d1%83%d1%81%d0%ba-%d1%96i-33-2017/>
- Кутерного І. (2004). Станіслав Скарбек: авантюрист і меценат. <http://www.ji.lviv.ua/n36-1texts/kuternoha2.htm> Незалежний культурологічний часопис "І", 36. <https://www.ji.lviv.ua/n36-1texts/kuternoha2.htm>
- Маліцький А., Голубінка Ю., Бубняк І., Бубняк А. (2017). Використання наземного лазерного сканування для збереження пам'ятки архітектури та геології. In *Культурна спадщина нафтової столиці Передкарпаття. Матер. наук.-практ. конф. (24–25 квіт. 2017 р., м. Борислав-Східниця)* (pp. 71–73).
- Нещадим В. (2023). Комп'ютерні методи створення цифрового архіву пам'яток архітектури за допомогою 3D-сканування. *Теорія та практика дизайну*, (29–30), 98–104. <https://doi.org/10.32782/2415-8151.2023.29-30.11>
- Петренко О. М., Білоусько О. А. (2012). Українська графіка другої половини ХХ – початку ХХІ століття з приватної збірки Олексія Петренка: Альбом-каталог. Полтава: ТОВ "АСМІ", 112 с.
- Петрик В. М., Павлат О. Б., Макачка Г. М., Сенюк С. І. (2019). Каплиця графа Скарбека [Інвентаризаційна картка пам'ятки] [Паспорт об'єкта культурної спадщини]
- Прибега Л. В. (2003). Сутність пам'ятки архітектури як об'єкта охорони та реставрації. Перспективні напрямки проектування житлових та громадських будівель: *зб. наук. праць*. Київ. С. 117–120.
- Старша, В. С. (2024). Ревіталізація доброчинного інституту для сиріт та убогих С. Скарбика з пристосуванням його будівель до сучасних потреб у с. Закладі Стрийського району Львівської області. https://repository.lnau.edu.ua/xmlui/bitstream/handle/123456789/2018/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%80%D1%88%D0%B0_mag.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Терещук, М. (2024). Деякі аспекти застосування геометричного моделювання для збереження та відновлення архітектурної спадщини України. *Прикладна геометрія та інженерна графіка*, (107), 162–171. <https://doi.org/10.32347/0131-579X.2024.107.162-171>
- Товбич В., Попович Є. (2023). Засоби та методи 3D сканування для створення фантомних моделей архітектурних об'єктів. *Сучасні проблеми архітектури та містобудування*, (67), 372–381. <https://doi.org/10.32347/2077-3455.2023.67.372-381>
- Шульц, Р. В., Білоус, М. В., Ковтун, В. Я., Куліченко, Н. В., & Гончарук, О. М. (2015). Визначення кренів історичних споруд за методом наземного лазерного сканування. *Інженерна геодезія*, 62, 55–71. <https://repository.knuba.edu.ua/server/api/core/bitstreams/33b47705-6dd2-4386-a49d-55fb022d2e9d/content>
- Шумаков І. В., Табачников С. В., Наливайко Т. А., Дорожко Є. В., Наливайко Т. Т. (2023). Інноваційні методи планування і реконструкції будівель історичної спадщини з використанням 3D сканера. *Комунальне господарство міст* 4(178), 65–71. <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2023-4-178-65-71>
- Autodesk (n. d.). *Autodesk / 3D design, engineering & construction software*. <https://www.autodesk.com>
- Bertocci, S., Arrighetti, A., Lumini, A., & Cioli, F. (2021). Multidisciplinary study for the documentation of the Ramintoja Church in Vilnius. Development of 3D models for virtualization and historical reconstruction. *Disegnarecon*, 14(27), 13–1. <https://hdl.handle.net/2158/1254672>
- Bubniak, I., Oliynyk, M., Tsikhon, S., Golubinka, Y., & Marko, T. (2023). 3D model of Medova cave, Lviv. *ISTCGCAP*, 98, 32–41. <https://doi.org/10.23939/istcgcap2023.98.032>
- Dunin-Borkowski, J. S. (1908). *Almanach ble'kitny: genealogia żyja'cych rodów polskich*. Nakł. Ksie'g. H. Altenberga. P. 844.
- International Organization for Standardization (2018). Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) – Information management using building information modelling – Part 1: Concepts and principles (ISO 19650-1:2018). International Organization for Standardization.
- Karbowiak, K., & Kasza, D. (2023). Application of Terrestrial Laser Scanning in Inventories of Architectural Objects and Building Structures – Illustrated by St. Lazarus' Church in Wrocław (Poland). *IOP Conference*

- Series: Earth and Environmental Science, 1189.* <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1189/1/012029>
- Mozas-Calvache, A. T., Gómez-López, J. M., Pérez-García, J. L., Vico-García, D., Barba-Colmenero, V., & Fernández-Ordóñez, A. (2024). Multi-Sensor Geomatic Techniques for the 3D Documentation and Virtual Repositioning of Elements of the Church of S. Miguel (Jaén, Spain). *Heritage*, 7(6), 2924–2943. <https://doi.org/10.3390/heritage7060137>
- Pérez-García, J. L., Mozas-Calvache, A. T., Gómez-López, J. M., & Vico-García, D. (2023). Multiscale 3D Documentation of the Medieval Wall of Jaén (Spain) Based on Multi-Sensor Data Fusion. *Heritage*, 6(8), 5952–5966. <https://doi.org/10.3390/heritage6080313>
- Rossowski, S. (Ed.). (1937, November 7). *Gazeta Lwowska, 1937, nr 254*. Biblioteka Jagiellońska. [Public domain]. <https://jbc.bj.uj.edu.pl/dlibra/publication/46408/edition/40836/content> (in Polish)
- Savchyn, I., & Repechovych, S. (2024, October). Historical virtual reconstruction of Przemyśl Fortress forts using geodetic methods: the case of I/4 Maruszka Las Fort in Ukraine. In International Conference of Young Professionals “GeoTerrace-2024” (vol. 2024, No. 1, pp. 1–5). <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2024510027>
- Savchyn, I., Tretyak, K., Brusak, I., Lozynskyi, V., & Duma, M. (2023, October). Rapid Fixation and Digitization for Cultural Heritage Preservation in Conflict Zones. In International Conference of Young Professionals “GeoTerrace-2023” (vol. 2023, No. 1, pp. 1–5). <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2023510030>
- Trimble (n. d.). *Trimble Geospatial*. <https://geospatial.trimble.com>.

Oleksandr ROMANYSHYN*, Ihor SAVCHYN

Department of Higher Geodesy and Astronomy, Lviv Polytechnic National University, 12, S. Bandery str., Lviv, 79013, Ukraine, e-mail: *oleksandr.ih.romanyshyn@lpnu.ua, <https://orcid.org/0009-0001-4204-2394>; ihor.r.savchyn@lpnu.ua, <https://orcid.org/000-0002-5859-1515>

VIRTUAL HISTORICAL AND ARCHITECTURAL RECONSTRUCTION OF COUNT SKARBEK’S CHAPEL-TOMB

The purpose of this study is to document the current condition of Count Skarbek’s chapel-tomb and create its virtual historical and architectural reconstruction. To achieve this goal, terrestrial laser scanning, photo and video documentation, as well as archival source analysis, were employed. The work is aimed at preserving the monument for future generations and laying the foundation for further restoration research. *Method.* The study applied a comprehensive set of methods, including terrestrial laser scanning of the chapel using a Trimble TX6 scanner, photo and video documentation of the object, and the collection of historical and archival materials. The collected data were processed utilizing Trimble RealWorks and Autodesk ReCap Pro software to create a three-dimensional point cloud. Based on the obtained model, a virtual historical and architectural reconstruction was created in the Autodesk Revit environment with a detail level of LOD300, supplemented by archival information for reconstructing lost elements. As a result of the research, a highly accurate three-dimensional model of Count Skarbek’s chapel-tomb was created, with an accuracy of 2–5 mm, documenting its current state. A virtual reconstruction of the object in its historical form was built, combining preserved and lost architectural elements. The resulting model can be used for further scientific research, restoration works, and activities aimed at preserving cultural heritage. *Scientific novelty and practical significance.* A comprehensive approach to the virtual reconstruction of destroyed architectural monuments has been developed by integrating terrestrial laser scanning data with the analysis of archival materials. The study proposed an effective methodology for reconstructing historical objects under limited source information conditions, which is particularly relevant under the current challenges in preserving cultural heritage.

Keywords: virtual reconstruction, terrestrial laser scanning, cultural heritage, chapel-tomb, 3D model, architectural documentation.

Надійшла 15.04.2025 р.