

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

Факультет землевпорядкування

ПОГОДЖЕНО

Декан факультету

землевпорядкування

к.е.н., доц.Олександр ШЕВЧЕНКО

« ___ » _____ 2025 р.

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри

геоінформатики та аерокосмічних

досліджень Землі

к.т.н.Антоніна МОСКАЛЕНКО

« ___ » _____ 2025 р.

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**на тему: «Розроблення інтерактивної карти об'єктів історико–культурної
спадщини Шпанівської територіальної громади із застосуванням LiDAR та
ГІС технологій»**

Спеціальність – 193 «Геодезія та землеустрій»

Освітня програма – Геодезія та землеустрій

Орієнтація освітньої програми – освітньо–професійна

Гарант освітньої програми

доктор економічних наук, професор

_____ Андрій МАРТИН

(підпис)

Керівник магістерської

кваліфікаційної роботи

доктор економічних наук, професор

_____ Антон КОШЕЛЬ

(підпис)

Виконав

_____ Владислав ЮХИМЮК

(підпис)

РЕФЕРАТ

Магістерська кваліфікаційна робота на тему: «Розроблення інтерактивної карти об'єктів історико–культурної спадщини Шпанівської територіальної громади із застосуванням LiDAR та ГІС технологій» основною метою якої є саме розроблення такої карти.

Структура магістерської кваліфікаційної роботи. Робота викладена на 65 сторінках, містить вступ, три розділи, висновки, перелік використаних джерел (62). Крім того в роботі наявні шість таблиць та шістнадцять рисунків.

Коротка характеристика розділів магістерської кваліфікаційної роботи. Перший розділ під назвою «Теоретико–методичні основи створення інтерактивних карт історико–культурної спадщини». Цей розділ присвячений опрацюванню теоретичних та нормативно–правових основ дослідження. У ньому розглядаються ключові поняття, класифікація об'єктів історико–культурної спадщини та аналізується законодавче забезпечення їхньої охорони.

Другий розділ під назвою «Характеристика об'єкту дослідження та методичні основи розроблення інтерактивної карти для Шпанівської територіальної громади» У другому розділі надано характеристику об'єкту дослідження - Шпанівській територіальній громаді та об'єктам спадщини на її території. Тут детально описана методика збору вихідних даних, зокрема польове 3D–сканування за допомогою LiDAR технології. Крім того, розроблено архітектуру майбутньої геоінформаційної системи та спроектовано базу геоданих, включаючи UML–модель..

Третій розділ під назвою «Формування та практичне застосування інтерактивної карти на території Шпанівської громади». Він присвячений безпосередньому створенню інтерактивної карти. Проведено обробку зібраних даних, верифікацію точності 3D–моделей об'єктів та програмно–технічну реалізацію карти на веб–платформі. На завершення аналізується практичне значення розробленої системи для органів управління, туризму та документування військових злочинів проти культурної спадщини.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ I. ТЕОРЕТИКО–МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ СТВОРЕННЯ ІНТЕРАКТИВНИХ КАРТ ІСТОРИКО–КУЛЬТУРНОЇ СПАДЩИНИ	8
1.1. Поняття та класифікація об’єктів історико–культурної спадщини. ..	8
1.2. Сучасні методи та технології цифрового картографування.	12
1.3. Нормативно–правове забезпечення обліку та охорони об’єктів спадщини в Україні.	15
РОЗДІЛ II. ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ’ЄКТУ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ РОЗРОБЛЕННЯ ІНТЕРАКТИВНОЇ КАРТИ ДЛЯ ШПАНІВСЬКОЇ ТЕРИТОРІАЛЬНОЇ ГРОМАДИ	17
2.1. Характеристика території дослідження та наявних об’єктів культурної спадщини.	17
2.2. Опис та історія обраних відсканованих об’єктів.	21
2.3. Обробка та інтеграція просторових даних (LiDAR, топографічні матеріали, архівні джерела).	22
2.4. Побудова бази геоданих для інтерактивної карти.	28
РОЗДІЛ III. ФОРМУВАННЯ ТА ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ ІНТЕРАКТИВНОЇ КАРТИ НА ТЕРИТОРІЇ ШПАНІВСЬКОЇ ГРОМАДИ	36
3.1. Технологія створення картографічної візуалізації з використанням ГІС–засобів.	36
3.2. Програмно–технічна реалізація інтерактивної карти громади.	45
3.3. Можливості використання карти у сфері туризму, освіти та збереження культурної спадщини.	49
ВИСНОВКИ	57
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	58

ВСТУП

Актуальність теми дослідження: Актуальність дослідження зумовлена нагальною потребою у цифровізації та систематизації об'єктів історико-культурної спадщини України, що є ключовим пріоритетом в умовах сучасних викликів. Незважаючи на законодавче забезпечення охорони, існує проблема неоднозначності тлумачення ключових понять та необхідність включення рухомих об'єктів до системи обліку.

Критичної актуальності тема набуває у контексті збройного конфлікту. Розробка геоінформаційної системи (ГІС) та створення високоточних 3D-моделей є життєво важливим інструментом для:

1) Документування та збереження – завчасне створення 3D-моделей цінних об'єктів є важливим для збереження історико-культурної спадщини на випадок їх руйнування.

2) Судової експертизи – ГІС-платформа, що інтегрує дані дистанційного зондування та результати верифікації, перетворюється на інструмент Geo-Forensic GIS для збору юридично значущих доказів військових злочинів проти культурної спадщини.

3) Сталого розвитку – інтерактивна карта слугує потужним засобом для популяризації спадщини, розвитку туризму, освіти та залучення громадськості до процесу збереження.

Об'єктом дослідження являється територія Шпанівської територіальної громади Рівненського району Рівненської області та розташовані на ній об'єкти історико-культурної спадщини, зокрема архітектурна пам'ятка Церква Зачатія Святої Ганни з дзвіницею та гідрологічна пам'ятка природи "Природне джерело".

Предметом дослідження є Теоретико-методичні та прикладні основи розроблення інтерактивної карти об'єктів історико-культурної спадщини із застосуванням сучасних технологій, зокрема лазерного сканування (LiDAR) та геоінформаційних систем (ГІС).

Метою роботи є розроблення інтерактивної карти об'єктів історико–культурної спадщини Шпанівської територіальної громади із застосуванням LiDAR та ГІС технологій.

Завдання магістерської роботи:

- 1) Визначити теоретико–методичні основи створення інтерактивних карт історико–культурної спадщини.
- 2) Надати характеристику об'єкту дослідження та методичні основи розроблення інтерактивної карти для Шпанівської територіальної громади.
- 3) Зформуванати та надати практичне застосування інтерактивної карти на території шпанівської громади.

Методика дослідження включала монографічний (при огляді й опрацюванні різнобічних наукових публікацій, нормативних та правових актів, що регулюють питання пов'язані з об'єктами історико–культурного призначення, тощо), картографічний – при укладанні планово–картографічних матеріалів, дослідженні території громади, створенні інтерактивної карти та ін, картометричний метод – для верифікації точності 3D–моделі шляхом обчислення відносної похибки вимірювання лінійних параметрів.

Структура магістерської роботи складається з змісту, вступу, трьох розділів, в яких послідовно розкривається тема роботи, висновки та список використаної літератури.

РОЗДІЛ І. ТЕОРЕТИКО–МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ СТВОРЕННЯ ІНТЕРАКТИВНИХ КАРТ ІСТОРИКО–КУЛЬТУРНОЇ СПАДЩИНИ

1.1. Поняття та класифікація об'єктів історико–культурної спадщини.

На думку Т.Г. Каткової, поняття «культурна спадщина» не має єдиного розуміння, що й породжує неоднозначність тлумачення під час його правозастосування. Зокрема, вона доводить, що визначені поняття та правовий режим охорони культурної спадщини в Законі України «Про охорону культурної спадщини» стосуються тільки нерухомих об'єктів, що породжує невідповідність чинним підзаконним актам, тому пропонує включити до списку об'єктів культурної спадщини рухомі предмети, які становлять для суспільства історичну, наукову, художню цінність. У зв'язку з цим Т.Г. Каткова визначає культурну спадщину як природні, природо антропогенні або створені людиною рухомі й нерухомі об'єкти, що донесли до нашого часу цінність із антропологічного, археологічного, естетичного, етнографічного, історичного, мистецького, наукового чи художнього погляду та зберегли свою автентичність: споруди (витвори), комплекси (ансамблі), їх частини, пов'язані з ними території чи території під водою, визначні місця, об'єкти науки й техніки, а також предмети та документи [5].

Згідно Статті 1. Закону України «Про охорону культурної спадщини» у якій наведені основні терміни:

культурна спадщина – сукупність успадкованих людством від попередніх поколінь об'єктів культурної спадщини [3];

об'єкт культурної спадщини – визначне місце, споруда (витвір), комплекс (ансамбль), їхні частини, пов'язані з ними рухомі предмети, а також території чи водні об'єкти (об'єкти підводної культурної та археологічної спадщини), інші природні, природно–антропогенні або створені людиною об'єкти незалежно від стану збереженості, що донесли до нашого часу цінність з археологічного, естетичного, етнологічного, історичного, архітектурного, мистецького, наукового чи художнього погляду і зберегли свою автентичність [3];

нерухомий об'єкт культурної спадщини – об'єкт культурної спадщини, який не може бути перенесений на інше місце без втрати його цінності з археологічного, естетичного, етнологічного, історичного, архітектурного, мистецького, наукового чи художнього погляду та збереження своєї автентичності [3];

пам'ятка культурної спадщини (далі – пам'ятка) – об'єкт культурної спадщини, який занесено до Державного реєстру нерухомих пам'яток України, або об'єкт культурної спадщини, який взято на державний облік відповідно до законодавства, що діяло до набрання чинності цим Законом, до вирішення питання про включення (невключення) об'єкта культурної спадщини до Державного реєстру нерухомих пам'яток України [3];

предмет охорони об'єкта культурної спадщини – характерна властивість об'єкта культурної спадщини, що становить його історико–культурну цінність, на підставі якої цей об'єкт визнається пам'яткою [3];

зони охорони пам'ятки, історико–культурного заповідника, історико–культурної заповідної території (далі – зони охорони) – встановлювані навколо території пам'ятки, історико–культурного заповідника, історико–культурної заповідної території охоронна зона, зона регулювання забудови, зона охоронюваного ландшафту, зона охорони археологічного культурного шару, в межах яких діє спеціальний режим їх використання [3];

зміна об'єкта культурної спадщини – дії, що призводять чи можуть призвести до часткового або повного зникнення предмета охорони об'єкта культурної спадщини [3];

щойно виявлений об'єкт культурної спадщини – об'єкт культурної спадщини, який занесено до Переліку об'єктів культурної спадщини відповідно до цього Закону [3];

видатна універсальна цінність – цінність об'єкта всесвітньої спадщини, яка є настільки унікальною, що виходить за межі національних кордонів та становить загальну цінність для нинішніх і майбутніх поколінь, збереження та охорона якої є першочерговим завданням для всього людства [3];

буферна зона – територія навколо об'єкта всесвітньої спадщини, що забезпечує охорону цілісності та автентичності видатної універсальної цінності цього об'єкта та у межах якої встановлюється відповідний режим використання.

облікова документація – документація, що формується в порядку обліку об'єктів культурної спадщини та містить дані щодо цінності об'єкта культурної спадщини, характерних властивостей, що становлять його історико–культурну цінність (предмет охорони об'єкта культурної спадщини), етапів розвитку, просторових, функціональних характеристик, стану збереження, а також дані проведених досліджень [3];

цінна історична забудова – сукупність щойно виявлених об'єктів культурної спадщини, пам'яток культурної спадщини, які є містоформуючим об'єктом історичного ареалу населеного місця [3].

Також згідно Закону України Про природно–заповідний фонд України, статтею 3, вказано про те що до природно–заповідного фонду України належать: природні території та об'єкти – природні заповідники, біосферні заповідники, національні природні парки, регіональні ландшафтні парки, заказники, пам'ятки природи, заповідні урочища [13].

Згідно статті 2 класифікація, об'єктів культурної спадщини подається така:

1. За типами об'єкти культурної спадщини поділяються на:

споруди (витвори) – твори архітектури та інженерного мистецтва, твори монументальної скульптури та монументального малярства, археологічні об'єкти, печери з наявними свідченнями життєдіяльності людини, будівлі або приміщення в них, що зберегли автентичні свідчення про визначні історичні події, життя та діяльність відомих осіб [3];

комплекси (ансамблі) – топографічно визначені сукупності окремих або поєднаних між собою об'єктів культурної спадщини [3];

визначні місця – зони або ландшафти, природно–антропогенні витвори, що донесли до нашого часу цінність з археологічного, естетичного, етнологічного, історичного, архітектурного, мистецького, наукового чи художнього погляду.

2. За видами об'єкти культурної спадщини поділяються на:

археологічні – рештки життєдіяльності людини (нерухомі об'єкти культурної спадщини: городища, кургани, залишки стародавніх поселень, стоянок, укріплень, військових таборів, виробництв, іригаційних споруд, шляхів, могильники, культові місця та споруди, їх залишки чи руїни, мегаліти, печери, наскельні зображення, ділянки історичного культурного шару, поля давніх битв, а також пов'язані з ними рухомі предмети), що містяться під землею поверхнею та під водою і є невідтворюваним джерелом інформації про зародження і розвиток цивілізації [3];

історичні – будинки, споруди, їх комплекси (ансамблі), окремі поховання та некрополі, місця масових поховань померлих та померлих (загиблих) військовослужбовців (у тому числі іноземців), які загинули у війнах, внаслідок депортації та політичних репресій на території України, місця бойових дій, місця загибелі бойових кораблів, морських та річкових суден, у тому числі із залишками бойової техніки, озброєння, амуніції тощо, визначні місця, пов'язані з важливими історичними подіями, з життям та діяльністю відомих осіб, культурою та побутом народів [3];

об'єкти монументального мистецтва – твори образотворчого мистецтва: як самостійні (окремі), так і ті, що пов'язані з архітектурними, археологічними чи іншими пам'ятками або з утворюваними ними комплексами (ансамблями) [3];

об'єкти архітектури – окремі будівлі, архітектурні споруди, що повністю або частково збереглися в автентичному стані і характеризуються відзнаками певної культури, епохи, певних стилів, традицій, будівельних технологій або є творами відомих авторів [3];

об'єкти містобудування – історично сформовані центри населених місць, вулиці, квартали, площі, комплекси (ансамблі) із збереженою планувальною і просторовою структурою та історичною забудовою, у тому числі поєднаною з ландшафтом, залишки давнього розпланування та забудови, що є носіями певних містобудівних ідей [3];

об'єкти садово–паркового мистецтва – поєднання паркового будівництва з природними або створеними людиною ландшафтами;

ландшафтні – природні території, які мають історичну цінність;
об'єкти науки і техніки – унікальні промислові, виробничі, науково–виробничі, інженерні, інженерно–транспортні, видобувні об'єкти, що визначають рівень розвитку науки і техніки певної епохи, певних наукових напрямів або промислових галузей [3].

1.2. Сучасні методи та технології цифрового картографування.

До сучасних методів та технологій картографування можна віднести ті, які включають автоматизацію процесів створення карт і застосування нових технологій, що значно підвищують точність та ефективність досліджень [26].

Геоінформаційні системи (ГІС): інструменти для збирання, зберігання, аналізу та візуалізації просторових даних. ГІС дозволяють інтегрувати різні типи даних і створювати комплексні карти [26].

Дистанційне зондування (Remote Sensing): технології збору даних з віддалених платформ (супутники, дрони), які дозволяють отримувати інформацію про важкодоступні або великі території [26].

Цифрова картографія: створення та маніпулювання картами в цифровому форматі з використанням спеціалізованого програмного забезпечення (ArcGIS, QGIS) [26].

3D–картографія та візуалізація: використання тривимірних моделей для відображення рельєфу, будівель, інфраструктури, що забезпечує більш реалістичне уявлення про просторові об'єкти [26].

Вебкартографія: геоінформаційна технологія використання карт через географічні інформаційні сервіси в інтернеті. Її головна відмінність полягає в тому, що користувач може самостійно вибирати, яка саме інформація відобразиться на карті. Особлива увага приділяється обробці геопросторових даних. Це пов'язано з особливими аспектами збору даних та архітектурою програмного забезпечення [26].

Таблиця 1.2.1

Види цифрових технологій, які використовуються для матеріальної культурної спадщини

Вид	Значення
Супутникова, аерозйомка та фотографування	З їх допомогою можна точно картографувати земний ландшафт (зокрема наявність фізичних об'єктів на землі).
Геоінформаційне картографування (gis mapping)	Геоінформаційні системи (ГІС) картографування дають змогу створювати, систематизувати та аналізувати просторові дані у формі карт.
Фотограмметрія	Технологія дає змогу інтерпретувати, вимірювати та моделювати об'єкти на основі їхніх зображень.
Лазерне сканування	Роботизована технологія, що дає змогу визначати відстань та фізичні параметри об'єкта точно і за короткий час. Дає змогу працювати як із малими, так і великими за розміром об'єктами культурної спадщини.
Інформаційне моделювання будівель (bim)	Технологія на основі 3D–моделювання, що дає змогу отримати більше даних про об'єкт для ефективнішого планування, дизайну, спорудження та управління будівлями та іншими об'єктами архітектури.
3D–моделювання	Таке моделювання створює 3D–цифрове зображення будь-якого об'єкта чи поверхні за допомогою відповідного програмного забезпечення.
Віртуальна доповнення реальність (vr) та (ar)	Віртуальна реальність та доповнена реальність уможливають відтворення історичної будівлі чи пам'ятки, що дає змогу користувачам взаємодіяти з нею.

Сучасне цифрове картографування – це комплекс процесів збору, обробки, моделювання та візуалізації просторової інформації, які забезпечують оперативність, інтерактивність та високу точність картографічних творів[6]. Основним його інструментом є Геоінформаційні системи (ГІС), що інтегрують дані з різних джерел.

У ГІС просторові дані представляються у двох основних формах:

1. Векторна модель: Об'єкти відображаються як точки, лінії та полігони з відомими координатами. Ця модель ідеально підходить для представлення об'єктів історико–культурної спадщини (точково — церква; полігоном — територія заповідника). Векторні дані забезпечують високу точність меж та зручність для топологічного і картометричного аналізу.

2. Растрова модель: Дані представлені у вигляді регулярної сітки (пікселів), де кожному елементу (пікселю) відповідає певне значення (колір, висота, інтенсивність відбиття). Растрові дані (наприклад, ортофотоплани, ЦМР) слугують географічною основою для інтерактивних карт.

Для роботи використовуються як пропрієтарні (комерційні), так і вільні (з відкритим кодом) ГІС–пакети.

- Пропрієтарні (ліцензійні): ArcGIS Desktop (ArcGIS Pro), MapInfo Professional (широко використовуються в державних та комерційних установах для професійного аналізу та ведення баз даних).

- Вільні (Open Source): QGIS (Quantum GIS), GRASS GIS (надають повний функціонал для картографування та аналізу, є безкоштовною та гнучкою альтернативою).

Для роботи з об'єктами спадщини критично важливе використання технології LiDAR (Light Detection and Ranging), яка належить до передових методів ДЗЗ.

LiDAR – Використовує лазерні імпульси для точного вимірювання відстаней до об'єктів. Результатом є **хмара точок** з високою щільністю, яка містить тривимірні координати (X,Y,Z) кожної точки.

1.3. Нормативно–правове забезпечення обліку та охорони об'єктів спадщини в Україні.

Збереження культурної спадщини, її складових–об'єктів, котрі із занесенням у Державний реєстр (списки) набувають статусу пам'яток, себто забезпечуються охороною, стала глобальною світовою проблемою. Успіх у цій справі можливий завдяки державницькій системі та за умови співпраці з міжнародними структурами, залученню значний інтелектуальних сил [23].

Руйнівниками пам'яток культури є екологічні (природні) та антропологічні (людські) чинники. Перші – сонце, вітер, дощ, мороз, землетруси тощо, другі – загазованість, реконструкції, війни тощо. Очевидно, що нічого вічного нема на землі. Аналогічно до біологічних організмів, які з'являються, розквітають і відмирають, матеріальні речі, створені людиною, теж проходять цей історичний шлях. Це давно з'ясована аксіома. Завдання полягає в тому, аби процес відмирання відтермінувати якнайдалі, знайти ефективні захисні засоби й методи.

У Венеціанській хартії, ухваленій Другим конгресом архітекторів і технічних спеціалістів з історичних пам'яток (1964 р.), підкреслюється, що першочерговою вимогою до зберігання пам'яток є постійний догляд за ними [23].

Очевидно, процитоване не є над відкриттям ХХ ст., бо ще первісна людина втямила, що догляд за будь–чим, приміром за вогнищем, гарантує його тривале горіння. Проте цінність хартії в тому, що вона вперше заявлена міжнародним співтовариством, котре узагальнило набутий досвід і рекомендувало урядовим структурам розв'язувати проблеми збереження пам'яток на тогочасних обґрунтованих науково–технічних засобах [23].

Вникати в цю сферу практичного збереження пам'яток – не наше завдання, тож акцентуватимемо увагу на нормативно–правових принципах їх збереження, у тому числі наявних приписів, інструкцій, що стосуються ремонтно–

реставраційних, консерваційних, реабілітаційних робіт на об'єктах культурної спадщини [23].

Звернення до правових засад охорони культурної спадщини, що набули певної та різної історіографії, обумовлено появою законодавчих актів, їх удосконалення, узгодженість з міжнародними конвенціями, хартіями, рекомендаціями, які радянський режим майже ігнорував; усунення монументальних міфотворів з теренів України, що підпадають під закон про декомунізацію [23].

Застереження дає підстави стверджувати про наявність новизни в пропонованій темі [23].

Охорона культурної спадщини – це система правових, організаційних, фінансових, матеріально–технічних, містобудівних, інформаційних та інших заходів з обліку (виявлення, наукове вивчення, класифікація, державна реєстрація), запобігання руйнуванню, належному пристосуванню об'єктів культурної спадщини, констатовано в статті 1 Закону України «Про охорону культурної спадщини». І ще: у преамбулі Закону наголошено, що охорона об'єктів культурної спадщини є одним з пріоритетних завдань органів державної влади та органів місцевого самоврядування [23].

РОЗДІЛ II. ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ РОЗРОБЛЕННЯ ІНТЕРАКТИВНОЇ КАРТИ ДЛЯ ІСПАНІВСЬКОЇ ТЕРИТОРІАЛЬНОЇ ГРОМАДИ

2.1. Характеристика території дослідження та наявних об'єктів культурної спадщини.

Клімат визначається надходженням тепла і вологи в ґрунт, наявністю і висотою снігового покриву, тривалістю і глибиною промерзання ґрунту тощо. Відповідне співвідношення температурних умов і зволоження обумовлюють тип рослинного угруповання, темпи утворення і розкладу органічної речовини, швидкість і характер процесів вивітрювання і ґрунтоутворення, тобто кліматичні умови впливають на всі біохімічні і фізико-хімічні процеси, які відбуваються в ґрунті[7].

Клімат території помірно теплий і вологий. Тут м'яка зима, тепле літо і достатня кількість опадів. Цей район характеризують дані Рівненської метеорологічної станції. Середня річна температура повітря для даного господарства становить $+7,5^{\circ}\text{C}$. Середня місячна температура холодного місяця (січня) сягає $-4,8^{\circ}\text{C}$ і найтеплішого (липня) сягає $+18,5^{\circ}\text{C}$. Найнижча абсолютна температура складає -36°C , що вказує на можливість вимерзання в малосніжні зими озимих посівів і пошкодження плодкових насаджень, а найбільша ($+35^{\circ}\text{C}$) в окремі періоди жаркого літа викликає підгоряння озимих і ярих сільськогосподарських культур. Проте ці явища тут не часті[7].

Температурний режим повітря, та кількість опадів наводиться в таблицях 2.1.1, 2.1.2.

Таблиця 2.1.1

Середня місячна температура повітря, °С, в с. Хотин Рівненського району Рівненської області

Місяці	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	За рік
<i>I</i>	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Середня температура повітря	<i>м. Рівне</i>												
	-5,4	-4,4	0,0	6,9	13,5	16,9	18,5	17,5	13,0	7,4	1,8	-2,6	

Таблиця 2.1.2

Середні місячні та річна кількість опадів, в мм, в с. Хотин Рівненського району Рівненської області

Метеостанція	Середні місячні та річна кількість опадів, в мм												За рік
	Місяці												
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
м. Рівне	50	52	46	41	58	72	83	11	53	50	52	49	683

Відлиги можуть бути впродовж всієї зими. Значні відлиги взимку завдають значної шкоди озимим культурам. В наслідок танення снігу, а часто і випадання в цей зниженні температури утворюється льодова кірка, яка значно пошкоджує посіви, а непокриті снігом посіви можуть вимерзнути[7].

Відносна вологість повітря в середньому за рік становить 70–80%, знижуючись у весняно–літній період до 65–67% і збільшуючись взимку до 85–89%. Це обумовлює порівняно невелике випаровування вологи з поверхні ґрунту. Перевищення опадів випаровуванням вказує на позитивний баланс вологи і достатнє забезпечення нею всіх сільськогосподарських культур[7].

Сталий сніговий покрив неглибокий і нестійкий. Середнє число днів з снігової покривом становить від 55 до 106 днів, висота коливається в межах 1–16 см.

В цілому, кліматичні умови сприяють вирощуванню сільськогосподарських культур, районованих в даній зоні[7].

Рельєф території переважно рівнинний з незначними западинами та підвищеннями. Грунтові води в межах забудованих територій залягають в основному на глибині більше 3 метрів і лише в понижених місцях ґрунтові води знаходяться на глибині до 2 м[8].

Поверхневими відкладами, що служать ґрунтоутворюючими породами для ґрунтів даного господарства є лесовидні суглинки, алювіально–делювіальні і сучасні алювіальні відклади[8].

Отже вплив геоморфологічних та геологічних умов на характер ґрунтового покриву, перерозподілу опадів і сільськогосподарське використання земель є одним з найголовніших в умовах даного господарства[8].

Гідрогеологічні умови і питання водопостачання.

Глибина залягання ґрунтових вод і характер їх мінералізації відіграють велику роль в процесі ґрунтоутворення. На підвищених елементах рельєфу ґрунтові води залягають на глибині 10–15 м, тому безпосереднього впливу на процеси ґрунтоутворення не мають. Головним джерелом зволоження ґрунтів, тут є атмосферні опади [9].

В знижених місцях на заплаві р. Вілія ґрунтові води залягають близько до поверхні і мають великий вплив на процеси ґрунтоутворення обумовлюючи оглеєність та заболоченість ґрунтів [9].

Весняна повінь на р. Вілія починається в кінці березня, але бувають відхилення в ту чи іншу сторону. Характер повені залежить від характеру сніготанення і водності весни [9].

Тривалість повені становить в середньому 15–20 днів.

ґрунтові води на території господарства прісні, цілком придатні для живлення рослин та господарського використання [9].

Території з більш рівнинним і слабо хвилястим рельєфом зволожуються атмосферними опадами рівномірно, більша частина яких вбирається ґрунтом.

Але в умовах вузько хвилястого типу рельєфу велика частина атмосферних опадів стікає по схилах вододілів. Стікання атмосферних вод по схилах викликає процес змиву і розмиву, внаслідок чого ґрунти схилів мають укорочені

гумусовані горизонти, часто спостерігається вихід на поверхню ґрунтоутворюючих порід. Це призводить до зменшення площ орних земель. Всі властивості гідрографічної системи та умов зволоження ґрунтів господарств слід враховувати при впровадженні агротехнічних, агролісомеліоративних і гідротехнічних заходів.

Джерелами централізованого водопостачання можуть служити води докембрійських відкладів. Дати їм детальну характеристику по всій території не видається можливим, так як спеціальних вишукувань не проводилося.

Природний приріст, який визначається співвідношенням кількості новонароджених і померлих жителів, є одним з вирішальних факторів формування чисельності населення та густоти його розміщення по території населеного пункту. Певною мірою показники природного приросту населення віддзеркалюють соціальний та економічний стан суспільства на різних етапах його розвитку. Зміни місця постійного проживання людей зумовлюються найрізноманітнішими причинами, починаючи від побутових і виробничих (робота, навчання тощо), і закінчуючи політичними, екологічними та ін.

Разом з природним приростом населення ці механічні переміщення людей, які називають міграціями, відбиваються на загальній чисельності та територіальних особливостях розселення.

Територія села знаходиться в зоні значної концентрації археологічних об'єктів (за схемою планування Рівненської області 2010 року).

Дана територія знаходиться в Південній туристичній зоні, яка характеризується наявністю культурно-пізнавального, ділового, сільського, лікувально-оздоровчого, екологічного, спортивного, релігійного, автомобільного та самодіяльного видів туризму.

В селі Хотин знаходяться пам'ятки археології, та архітектури, а саме:

Пам'ятка 1 Пам'ятка історії "Могила громадського і військового діяча В. Оскілка"

Пам'ятка 2. Городище та селище (XII–XIII ст.)

Пам'ятка 3. Хотинське городище

Пам'ятка 4. Поселення тшинецько–комарівської, милоградської культур та давньоруське (XVI–IXст. до н.е. VI ст.до н.е.–I ст.до н.е.,XI–XIIIст.)

Пам'ятка 5. Поселення городоцько–здовбицької та милоградської культур (кун.ІІІ– поч.ІІтис. до н.е.VI –ІІІ ст.до н.е.)

Пам'ятка 6. Поселення комарівської та милоградської культур (ІІ– поч.Ітис. до н.е.,VI ст.до н.е.–I ст.н.е.)

Архітектурна пам'ятка Церква Зачатія Святої Ганни, та дерев'яна двоярусна дзвіниця при ній (1769 р).

Гідрологічна пам'ятка природи місцевого значення "Природне джерело".

2.2. Опис та історія обраних відсканованих об'єктів.

Архітектурна пам'ятка Церква Зачатія Святої Ганни, та дерев'яна двоярусна дзвіниця при ній (1769 р).

Збудована у 1769 році на кошти поміщика Антонія Богуша та парафіян. Зберігалися копії метричних книг з 1812 року. На окрему увагу заслуговують дерев'яні різьблені позолочені Царські врата – важливий компонент декоративного оздоблення іконостаса. В їх композицію введено так зване Ієсееве дерево – оригінальну іконографічну новину, яка з'явилася на західноукраїнських землях (Галичина, Волинь) у XVII ст. і протрималася понад сторіччя [10].

Фігура праведного праведного Ієсея, що простягається через обидві стулки Царських врат, отже, розділена середньою колонкою навпіл, розміщується в самому низу, над підлогою. Частково успадковуючи усталений канон, започаткований в Афонському малярському підручнику «Єрмінія», довгобородого Ієсея зображено в довгій одежі зі складками та в головному уборі; він спить на лівому боці, спираючись на лівий лікоть. З його спини виходять ажурні галузки з листям і квітками, які він притримує правою рукою. Замість традиційних зображень біблійних царів, починаючи з Давида і закінчуючи Христом на вершці галузки, які вводилися в Царські врата XVII ст. на Галичині, в Анно Зачаттійській церкві у рослинний вишуканий орнамент вкомпоновано шість круглих медальйонів. Вони розміщені по три на кожній стулці врат: у двох

верхніх – мальовані зображення Благовіщення, в чотирьох інших – Євангелістів [10].

На захід від церкви, на продовженні її поздовжньої осі, стоїть дерев'яна квадратна в плані двоярусна дзвіниця. Обидві будівлі утворюють єдиний гармонійний ансамбль. Перший ярус дзвіниці відділяється від другого масивним, пластичного малюнка підданцем. Другий ярус перекритий восьмигранною банею, увінчаною декоративною маківкою. За своїми архітектурно–художніми якостями дзвіниця належить до кращих зразків будівель цього типу, збудованих на Волині в другій половині XVIII ст [10].

Гідрологічна пам'ятка природи місцевого значення "Природне джерело".

Природне джерело— гідрологічна пам'ятка природи місцевого значення в Україні. Розташована в межах Рівненського району Рівненської області, при північно–східній околиці села Хотин [11].

Площа 0,3 га. Статус надано згідно з рішенням облвиконкому від 22.11.1983 року № 343. Перебуває у віданні Шпанівської сільської ради [11].

Статус надано для збереження джерела природного походження з чистою водою. Джерело розташована на стрімкому лівобережному схилі долини річки Горинь [11].

Мальовниче джерело з надзвичайно прозорою водою, яке гармонійно вписується в загальний краєвид. Джерело висхідного типу в основі горба, приблизно на 8–9 м вище урізу води р.Горинь. Джерело окультурене, глибина – 0,85 м. Витікає з–під пагорба, в основі складеного крейдовими породами. Вода прозора, приємна на смак. Мовчазним сторожем "стоїть" над джерелом розлогий красень ясен, обхват стовбура якого сягає 4,4 м [12].

2.3. Обробка та інтеграція просторових даних (LiDAR, топографічні матеріали, архівні джерела).

В даному пункті буде описано процес виконання знімання та створення 3D моделей цінних історико–культурних об'єктів з використанням смартфона, оснащеного LiDAR–сканером.

При виконанні було використано такі методи: польового знімання з використанням смартфона, оснащеного LiDAR–сканером [16]; опрацювання результатів знімання з використанням програми Polycam [20] та Auto CAD, PIX4D, 3D MAX, Blender; верифікації отриманої 3D моделі пам’яток, метод узагальнення отриманих результатів та їх відображення у вигляді 3D моделі.

Сутність технології LiDAR – сканування об’єктів із застосуванням смартфона. LiDAR–датчик в смартфоні представлений невеликим модулем, розташованим на задній панелі пристрою. Він складається з лазерного випромінювача, приймача світла та процесора для опрацювання отриманих даних (рис. 2.3.1) [15].



Рисунок 2.3.1 – Розташування LiDAR–сканера на панелі смартфона URL: <https://mezhamedia/articles/yak-vykorystovuvaty-lidar-na-iphone-ta-ipad/>.

Лідар дозволяє вимірювати відстані до об’єктів з високою точністю та швидкістю [17]. Це досягається за рахунок використання інфрачервоних променів світла, які не поглинаються атмосферою. LiDAR працює наступним чином (рис. 2.2.2):

- датчик LiDAR випромінює короткі імпульси інфрачервоних променів світла;
- інфрачервоні промені світла відбиваються від об’єктів, які ми знімаємо, і потрапляють у поле зору датчика у смартфоні;

- датчик вимірює час, за який світло повертається назад;
- на основі цього часу датчик обчислює відстань до об'єкта;
- на основі хмари точок формується образ (3D модель) об'єкта.

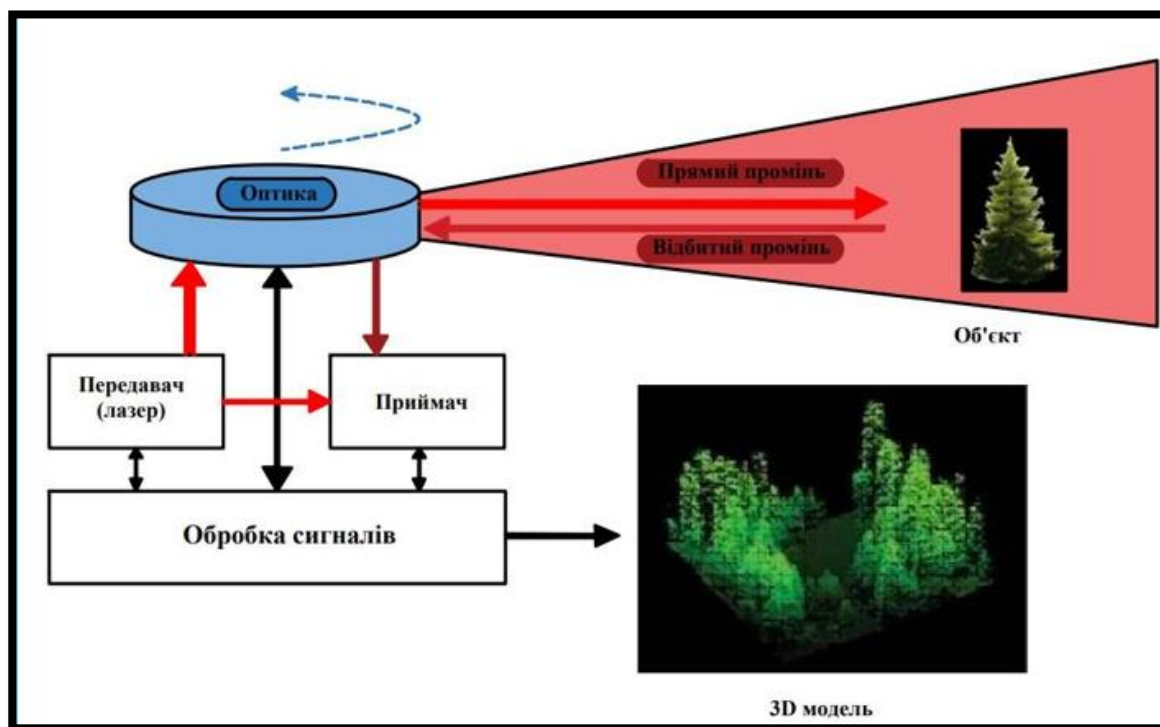


Рисунок 2.3.2 – Принципова схема виконання знімальних робіт з використанням смартфона з LiDARом.

Основний принцип дії цієї технології знімання полягає в тому, що датчик випромінює світлові промені та засікає час, необхідний цим променям на рух до об'єкта знімання, відбиття від нього та повернення назад. Цей процес враховує фактор впливу розсіювання середовища, що дозволяє досягти високої точності у визначенні відстаней до об'єктів [15].

Серед мобільних пристроїв вперше технологія LiDAR з'явилася на задніх камерах у 2020 році з випуском iPad Pro та iPhone 12 Pro/iPhone 12 Pro Max [16]. LiDAR – це метод визначення віддалей від камери до досліджуваних об'єктів з використанням лазерного випромінювання. У результаті зйомки отримують хмару точок, за допомогою яких окреслюються контури досліджуваного об'єкта [15].

Наступне опрацювання цієї хмари точок дозволяє створювати 3D моделі досліджуваних об'єктів.

Створення 3D моделі об'єкта історико–культурної спадщини із застосування програмного засобу Polycam у смартфоні. LiDAR можна використовувати для створення точних 3D моделей історико–культурних об'єктів. Ця технологія може бути корисною для вирішення різних завдань, таких як: архітектурне проєктування, знімання цінних пам'яток архітектури і створення їхніх об'ємних зображень, супровід ремонтних робіт, створення віртуальної і доповненої реальності тощо. Реалізація цих завдань особливо важлива в період воєнного стану, коли існує небезпека руйнування цінних історико–культурних об'єктів, тому завчасне створення їхніх 3D–моделей вкрай важливе для збереження нашої історико–культурної спадщини [15].

Загальний принцип створення 3D моделі одного з таких об'єктів – пам'ятки природи Джерело охарактеризовано нижче.

1. Відкриваємо програму Polycam [18] та натискаємо «створити новий проєкт».
2. Обираємо функцію LiDAR та починаємо сканувати поверхню досліджуваного об'єкта.
3. Після завершення сканування отримуємо готову полігонометричну модель, яку в подальшому можна експортувати в різні розширення, які підійдуть для подальшого опрацювання в додатковому програмному забезпеченні, такому як Auto CAD, PIX4D, 3D MAX, Blender.
4. Після експорту проєкту в файл з розширенням DXF, відкриваємо його в AutoCAD та визначаємо точність передачі параметрів експозиції на створеній хмарі точок.

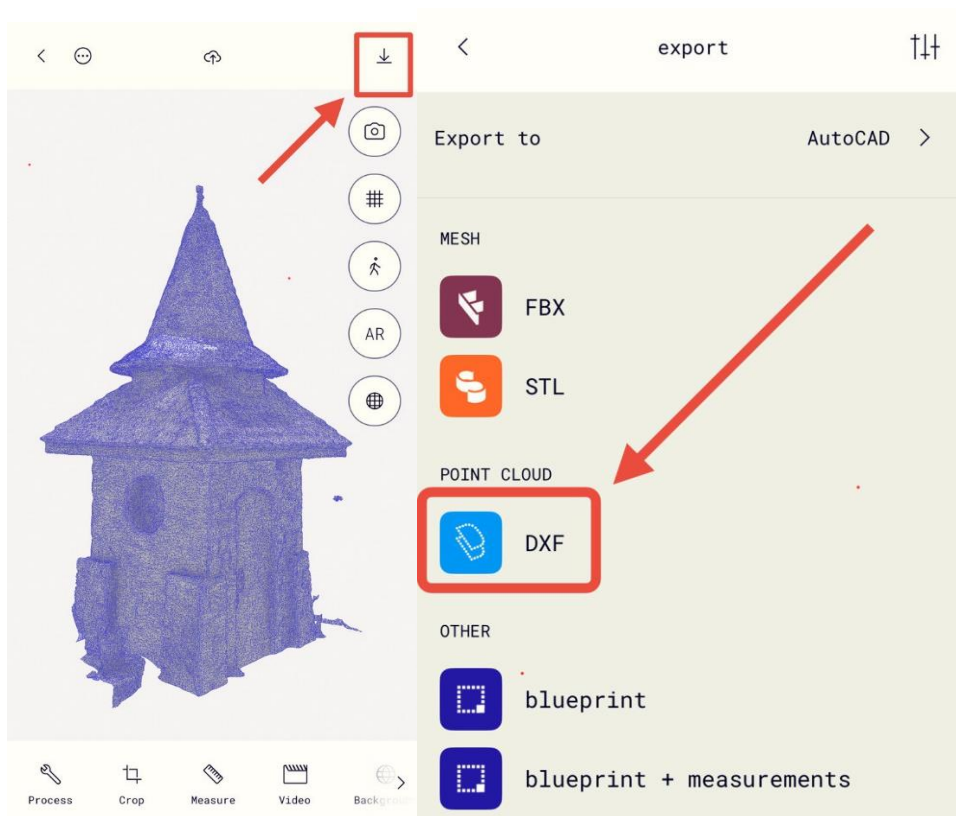


Рисунок 2.3.3 – Хмара точок, які відображають елементи пам’ятки та їх експорт у файл з розширенням DXF

5. Завантажена у програму хмара точок має щільність, достатню для визначення відображення розмірів габаритів споруди на створюваній 3D моделі Джерела (рис.2.3.6) із достатньою точністю. За еталонне значення було обрано лицеву сторону споруди, довжина якої становила 210 сантиметрів, виміряна рулеткою. (рис. 2.3.4, 2.3.5).

6. Для визначення точності вимірювання довжини стіни можна використати відносну похибку, яка обчислюється як відношення різниці середнього еталонного та середнього виміряного значення до величини середнього еталонного значення, вираженого у відсотках. Виміряні мною дані становили:

- середнє (з 3 вимірів) еталонне значення довжини, виміряне рулеткою: 210 см;
- середнє виміряне значення з допомогою LiDAR – сканера: 6,9 фути, тобто 205,7 см. Обчислена таким чином відносна похибка складає 2.04%.



Рисунок 2.3.4 – Стіна джерела з відображенням їх лінійних розмірів, визначених рулеткою.

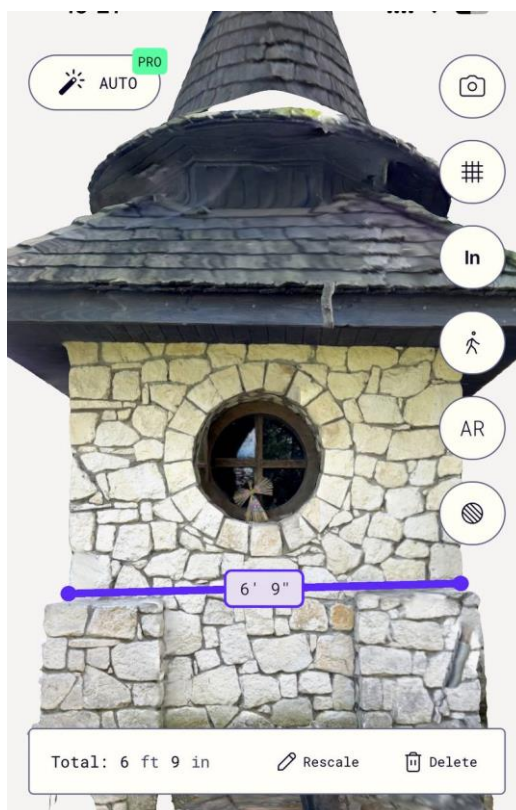


Рисунок 2.3.5 – Оцінка точності створеної 3–D моделі Джерела (виміри у футах)



Рисунок 2.3.6 – Створена 3–D модель Джерела.

$$\text{Відносна похибка} = \frac{210 - 205,7}{210} \times 100 \% = \frac{4,3}{210} \times 100 \% \approx 2.04\%$$

Отже, похибка вимірювання лінійних параметрів споруди створеної за допомогою LiDAR – сканера моделі (рис. 2.3.6) не перевищує 2.04%, тобто є прийнятною.

2.4. Побудова бази геоданих для інтерактивної карти.

Діаграма послідовності (sequence diagram) – діаграма, на якій показані взаємодії об'єктів, упорядковані за часом їхнього прояву [25].

На діаграмі послідовності неявно присутня вісь часу, що дозволяє візуалізувати тимчасові відношення між переданими повідомленнями. За допомогою діаграми послідовності можна представити взаємодію елементів моделі як своєрідний часовий графік "життя" всієї сукупності об'єктів, зв'язаних між собою для реалізації варіанта використання програмної системи, досягнення бізнес–мети або виконання якого–небудь завдання [25].

На діаграмі послідовності зображуються об'єкти, які безпосередньо беруть участь у взаємодії, при цьому ніякі статичні зв'язки з іншими об'єктами не візуалізуються. Для діаграми послідовності ключовим моментом є саме динаміка взаємодії об'єктів у часі. При цьому діаграма послідовності має як би два виміри. Один простягається зліва направо у вигляді вертикальних ліній, кожна з яких зображує лінію життя окремого об'єкту, що бере участь у взаємодії. Другий вимір діаграми послідовності – вертикальна тимчасова вісь, спрямована зверху вниз [25].

Діаграмами послідовностей, на якій для деякого набору об'єктів на єдиній тимчасовій осі показані життєвий цикл (створення – діяльність – знищення) і взаємодія (відправка запитів і отримання відповідей). Основними елементами діаграми послідовності є позначення об'єктів (прямокутники з назвами об'єктів), вертикальні «лінії життя» (англ. Lifeline), що відображають плин часу, прямокутники, що відображають діяльність об'єкта або виконання ним певної функції (прямокутники на пунктирною «лінії життя»), і стрілки, що показують обмін сигналами або повідомленнями між об'єктами [24].

Нижче представлена діаграма послідовності (рис 2.4.1.) для створення інтерактивної карти об'єктів культурної та історичної спадщини,

Об'єкт – відбувається пошук об'єкту та наповнюється опис про нього;

Сканування 3D – об'єкт сканується на місцевості після чого відбувається обробка моделі у відповідних програмних засобах, таких як AutoCAD, PiX4D, та інші;

Карта – готова 3D модель разом з іншою додатковою інформацією про нього завантажується на ресурс, та оформлюється продукт;

Публікація – перевірка на наявність дефектів перед публікацією на ресурс.

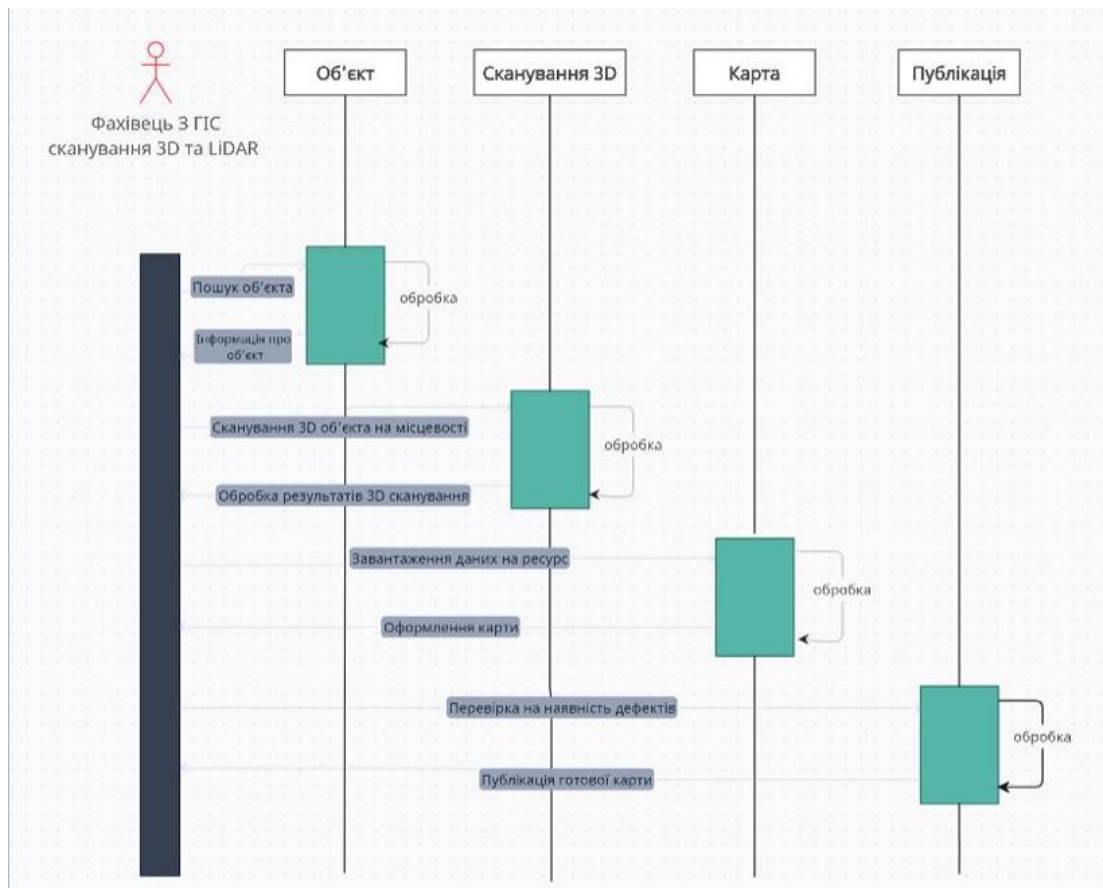


Рисунок 2.4.1 – Діаграма послідовності

Діаграма класів – це діаграма, що демонструє класи системи, їх атрибути, методи і взаємозв'язку між ними. Вони є однією з форм статичного опису системи з точки зору її проектування, показуючи її структуру. Діаграма класів не відображує динамічну поведінку об'єктів зображених на ній класів. На діаграмах класів показуються класи, інтерфейси і відносини між ними. Клас – це основний будівельний блок ПС. Це поняття присутній і в ОО мовах програмування, тобто між класами UML і програмними класами є відповідність, що є основою для автоматичної генерації програмних кодів або для виконання реінжинірингу. Кожен клас має назву, атрибути і операції. Клас на діаграмі показується у вигляді прямокутника, розділеного на 3 області. У верхній міститься назва класу, в середній – опис атрибутів (властивостей), в нижній – назви операцій – послуг, що надаються об'єктами цього класу. Діаграма класів є подальшим розвитком концептуальної моделі проектованої системи [24].

Діаграма класів призначена для надання статичної структури моделі системи в термінології класів об'єктно–орієнтованого програмування. Діаграма класів відображує різні взаємозв'язки між окремими сутностями предметної області, такими як об'єкти й підсистеми, а також описує їхню внутрішню структуру й типи відносин. На даній діаграмі не вказується інформація про часові аспекти функціонування системи [27].

Діаграма класів (class diagram) – діаграма на якій представлена сукупність Декларативних або статичних елементів моделі, таких як класи з атрибутами й операціями, а також відношення, що їх з'єднують [27].

Клас (class) – абстрактний опис множини однорідних об'єктів, що мають однакові атрибути, операції й відносини з об'єктами інших класів. Графічно клас зображується у вигляді прямокутника, що додатково може бути розділений горизонтальними лініями на розділи або секції. У цих секціях можуть вказуватися ім'я класу, атрибути й операції класу [27].

На початкових етапах розробки діаграми окремі класи можуть позначатися простим прямокутником, у якому повинне бути зазначене ім'я відповідного класу. З деталізацією окремих компонентів діаграми опис класів доповнюється атрибутами і операціями. Передбачається, що остаточний варіант діаграми містить найбільш повний опис класів, який складається із трьох секцій [27].

Навіть якщо секції атрибутів й операцій порожні, у позначенні класу вони повинні бути виділені горизонтальною лінією, для того щоб відрізнити клас від інших елементів мови UML. Приклади графічного зображення конкретних класів наведені на. У першому випадку для класу Коло (Circle) зазначені тільки його атрибути — крапка на координатній площині, що визначає розташування його центра й радіус. Для класу Вікно (Window) зазначені тільки його операції [27].

Клас може мати або не мати екземплярів або об'єктів. Залежно від цього в мові UML розрізняють конкретні й абстрактні класи.

Конкретний клас (concrete class) – клас, на основі якого можуть бути безпосередньо створені екземпляри або об'єкти.

Абстрактний клас (abstract class) – клас, що не має екземплярів або об'єктів.

Розглянуті вище позначення відносяться до конкретних класів.

Діаграма (рис 2.4.2) описує предметну модель для інтерактивної карти історико–культурної спадщини з основними сутностями: Об'єкт історичної спадщини, Карта, Дані LiDAR та 3D, Журнал взаємодій і Користувач. Модель дозволяє зберігати просторові координати, багатомедійні та 3D–ресурси, історію дій користувачів і керувати доступом за ролями.

Діаграма включає наступні основні класи з їхніми атрибутами (переважно позначеними як Числовий або Текстовий тип даних):

- 1) Об'єкт історичної спадщини
 - Унікальний ідентифікатор: Числовий
 - Назва об'єкта: Текстовий
 - Опис: Текстовий
 - Географічні координати: Числовий
 - Тип об'єкта: Текстовий (з варіантами: Архітектурний об'єкт, Археологічний пам'ятник, Історичне місце, Культурний ландшафт, Релігійний об'єкт, Інше)
 - Стан об'єкта: Текстовий (з варіантами: Збережений, Частково зруйнований, Руїни, Зниклий, Відновлений)
- 2) Карта
 - Унікальний ідентифікатор карти: Числовий
 - Назва карти: Текстовий
 - Масштаб: Числовий
 - Список шарів карти: Текстовий
- 3) Дані LiDAR та 3D
 - Роздільна здатність: Числовий
 - Шлях до файлу з LiDAR та 3D: Текстовий
 - Дата зйомки: Числовий
 - Статус обробки: Текстовий
- 4) Шар ГІС (Геоінформаційної Системи)

- Назва шару: Текстовий
- Тип шару: Текстовий (з варіантами: Векторний, Растровий)
- Джерело даних: Текстовий
- Тип відображення: Текстовий (з варіантами: Топографічний, Тематичний, Рельєфний)

5) Користувач

- Ім'я користувача: Текстовий
- Роль користувача: Текстовий (з варіантами: Адміністратор, Дослідник, Картограф, Гість)

- Електронна пошта: Текстовий

б) Журнал взаємодій

- Ідентифікатор користувача: Числовий
- Тип дії: Текстовий (з варіантами: Перегляд карти, Додавання об'єкта, Редагування об'єкта, Видалення об'єкта, Завантаження даних)

Зв'язки між класами описують, як сутності взаємодіють. Нотація 1..* (один до багатьох) і $1..1$ (один до одного) позначає множинність (кардинальність).

1) Об'єкт історичної спадщини та Карта:

- Кожен Об'єкт історичної спадщини пов'язаний з однією ($1..1$) або багатьма (1..*) Картами. Це може означати, що об'єкт може відобразитися на кількох картах.

2) Об'єкт історичної спадщини та Дані LiDAR та 3D:

- Кожен Об'єкт історичної спадщини пов'язаний з одним і лише одним $1..1$ набором Даних LiDAR та 3D, що логічно, оскільки ці дані є унікальними для об'єкта.

3) Об'єкт історичної спадщини та Шар ГІС:

- Кожен Об'єкт історичної спадщини пов'язаний з одним і лише одним ($1..1$) Шаром ГІС. Це вказує на те, що об'єкт розміщено на конкретному шарі.

- Кожен Шар ГІС пов'язаний з одним або багатьма (\text{1..*}) Об'єктами історичної спадщини. Це означає, що один шар може містити багато об'єктів.

4) Карта та Шар ГІС:

- Кожна Карта пов'язана з одним або багатьма (\text{1..*}) Шарами ГІС. Це природно, оскільки карта складається з одного чи більше шарів.

5) Користувач та Журнал взаємодій:

- Один Користувач може мати багато (\text{1..*}) записів у Журналі взаємодій.

- Кожен запис у Журналі взаємодій пов'язаний з одним і лише одним (1..1) Користувачем. Це показує, хто саме виконав дію.

Діаграма описує модель даних для системи, яка:

1. Каталогізує об'єкти спадщини з детальною інформацією про їхній тип та стан.

2. Географічно прив'язує об'єкти (через Карти та Шари ГІС).

3. Зберігає спеціалізовані 3D/LiDAR дані для об'єктів.

4. Відстежує взаємодію користувачів з системою (хто, коли і що робив).

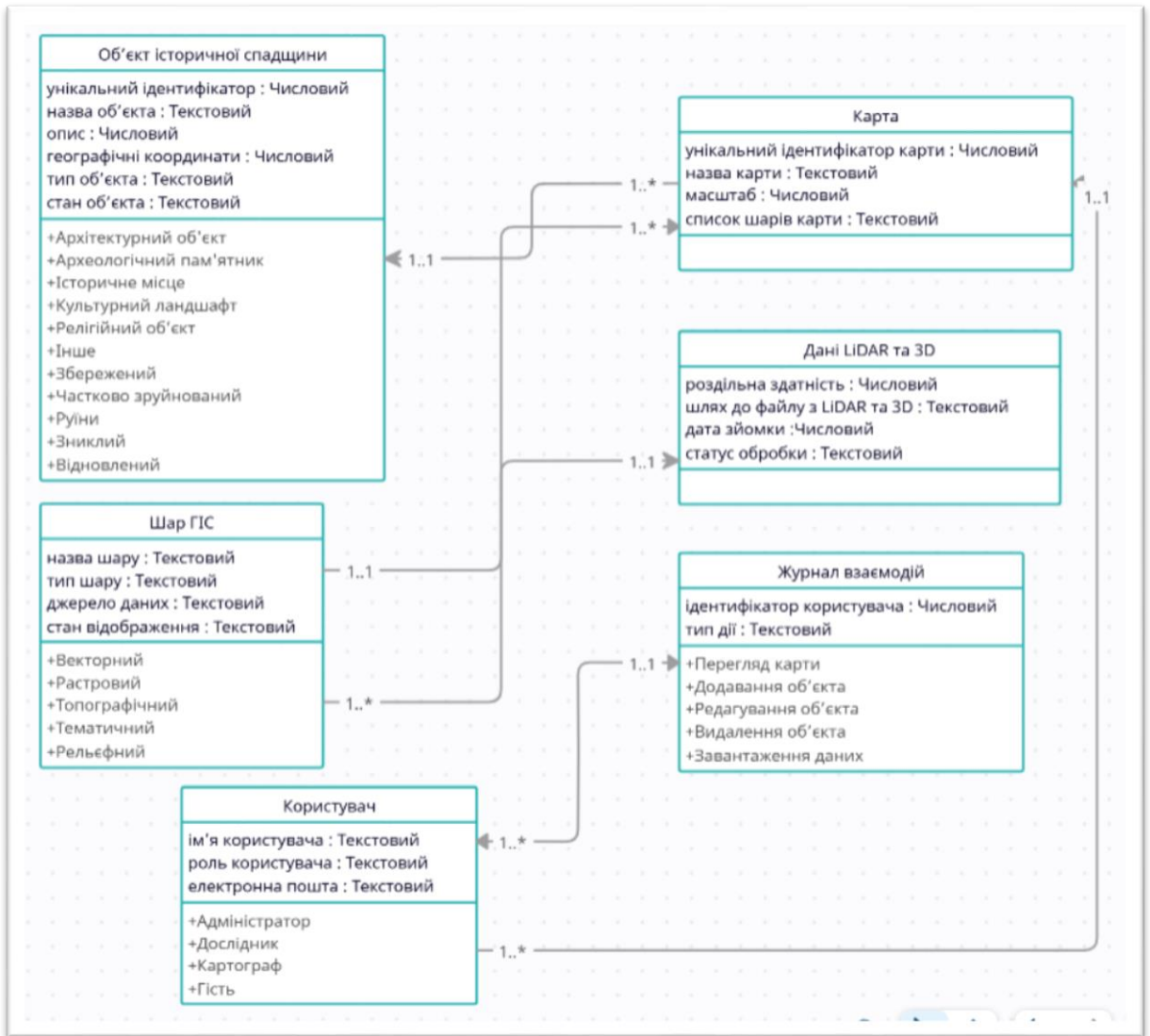


Рисунок 2.4.2 – Діаграма класів

РОЗДІЛ III. ФОРМУВАННЯ ТА ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ ІНТЕРАКТИВНОЇ КАРТИ НА ТЕРИТОРІЇ ШПАНІВСЬКОЇ ГРОМАДИ

3.1. Технологія створення картографічної візуалізації з використанням ГІС–засобів.

Тривимірні Географічні Інформаційні Системи (3D ГІС) є фундаментальним інструментом для документування та управління об'єктами культурної та природної спадщини, оскільки вони інтегрують геометричні координати (X, Y, Z), атрибутивні дані та складні візуалізаційні компоненти. Цей підхід виходить за рамки традиційного 2D–картографування, створюючи єдину просторову базу даних, здатну підтримувати складний просторовий аналіз [41].

У контексті, що розглядається, 3D ГІС виконує декілька критичних функцій. Для архітектурного об'єкта, такого як дзвіниця, система забезпечує надзвичайно точну фіксацію геометрії, що є необхідним для майбутнього моніторингу стану, реставраційних робіт та аналізу її видимості в навколишньому міському ландшафті. Для природної пам'ятки, як–от джерело, 3D ГІС вимагає інтеграції об'єкта з високоточною цифровою моделлю рельєфу (DTM), оскільки його значення невід'ємно пов'язане з топографією та гідрологічними параметрами.

Важливою особливістю професійної 3D ГІС–платформи є її здатність об'єднувати різноманітні категорії даних. Для об'єктів спадщини це можуть бути історичні записи, архітектурні креслення, структурні звіти та параметри навколишнього середовища. Це злиття даних у єдиній просторовій структурі є ключем до ефективного управління спадщиною [41]. Проте, архітектурний об'єкт (дзвіниця) є дискретним, вертикально орієнтованим об'єктом, який часто моделюється як окремий елемент (Multipatch Feature Class), тоді як природна пам'ятка (джерело) може вимагати комбінації різних шарів, включаючи растрові дані (DEM/DTM) та об'єкти з динамічними атрибутами (наприклад, показники температури чи дебіту води, які керуються як часові ряди, прив'язані до геометрії через зв'язані таблиці).

Процес перетворення відсканованих 3D-об'єктів у повноцінний інтерактивний ГІС-шар є послідовним і вимагає контролю якості на кожному етапі (Таблиця 3.1.1). Етапи цього робочого процесу включають:

Таблиця 3.1.1

Етапи робочого процесу перетворення відсканованих 3D-об'єктів

Утап	Опис
Збір та Обробка Даних	Створення щільної хмари точок з кольором (RGB) через фотограмметрію або лазерне сканування [43]. На цьому етапі критично важливим є забезпечення точної геоприв'язки за допомогою наземних контрольних точок (GCPs).
Моделювання та Оптимізація	Формування текстурованої сітки з хмари точок та її подальша оптимізація (зменшення полігонажу) для ефективного використання у ГІС-сценах. Цільовим форматом є GLTF/GLB [44].
Геопросторова Інтеграція	Імпорт оптимізованої моделі в настільну ГІС (наприклад, ArcGIS Pro) та її перетворення у геопросторовий контейнер, як-от Multipatch Feature Class. Визначальною вимогою є мінімізація помилок Z-координати, які можуть призвести до левітації або занурення об'єкта.
Атрибутивна Інтеграція	Створення або оновлення атрибутивної таблиці для об'єкта та налаштування інтерактивних механізмів (Pop-ups) для відображення метаданих [45].

Критичним елементом у сучасному 3D ГІС-робочому процесі є вибір формату GLTF/GLB (GL Transmission Format). Це відкритий, універсальний та оптимізований формат, який активно підтримується провідними ГІС-платформами (ArcGIS [46], QGIS [47]) та веб-візуалізаторами (CesiumJS) [48].

Його використання забезпечує найкращу сумісність та продуктивність для подальшої веб–публікації.

Вихідні дані 3D–сканування, такі як великі хмари точок (LAS) або високополігональні сітки (OBJ, PLY), не є оптимальними для прямого використання у 3D ГІС–середовищі через їхню велику "вагу" та вимоги до рендерингу.

Зокрема, Wavefront OBJ є поширеним форматом для документування культурної спадщини [49], але він вимагає наявності декількох пов'язаних файлів (.mtl для матеріалів та .jpg для текстур) [49]. Для досягнення максимальної сумісності та продуктивності, особливо при веб–публікації, необхідний перехід до формату GLTF або його бінарної версії GLB. **GLB (Binary GLTF)** є переважним, оскільки він інкапсулює всю геометрію, текстури та бінарні дані в один файл, що ідеально підходить для веб–середовищ та мобільних додатків [44].

Процес експорту, наприклад, із програмного забезпечення для фотограмметрії Agisoft Metashape, включає вибір формату glTF (*.glb) та обов'язкове увімкнення опції **Embed textures** (Вбудувати текстури) [44]. Це забезпечує, що візуальна інформація, яка надає дзвіниці реалістичний вигляд, буде збережена. Однак, слід звернути особливу увагу на якість текстур та кольорів. При конвертації безпосередньо з хмари точок (LAS) є ризик втрати кольорових компонентів (RGB) [51]. Тому критично важливо, щоб текстурування було завершено та валідовано у програмі моделювання перед фінальним експортом у GLTF. Для забезпечення коректності візуалізації (зокрема, коректного застосування PBR–моделей, які описують взаємодію світла з матеріалами [52]), рекомендується тестувати 3D–модель за допомогою спеціалізованих інструментів валідації GLTF, таких як Modelviewer, ще до імпорту в ГІС [50].

Точність позиціонування 3D–моделей у просторі є визначальною ознакою 3D ГІС. Це досягається за допомогою Наземних Контрольних Точок (GCPs), які є фіксованими орієнтирами на землі з відомими, високоточними географічними координатами (X, Y, Z) [53]. GCPs діють як "якорі", які вирівнюють модель

відповідно до реального світу та запобігають спотворенням. Для сканування дзвіниці та джерела рекомендується використовувати висококонтрастні маркери, такі як чорно–білі квадрати або яскраво–помаранчеві Х–подібні мітки, які легко ідентифікуються як аерофотозйомкою, так і наземним скануванням [53].

Після обробки та створення GLTF–моделі її необхідно інтегрувати в ГІС. Існують два основні шляхи, це, використання Placement Points: Якщо скановані об'єкти (дзвіниця, джерело) мають пов'язані точкові об'єкти, координати яких точно визначають їхнє реальне положення, можна використовувати інструменти масового імпорту, такі як Import 3D Files в ArcGIS Pro [54], та ручне інтерактивне розміщення: Якщо placement points відсутні, 3D–модель (GLTF, OBJ, DAE) може бути розміщена в сцені вручну, після чого її розмір, обертання та позиція налаштовуються за допомогою інструментів редагування [54].

Критичним моментом є контроль Z–координати. Якщо модель геоприв'язана за X та Y, але її висота (Z) не відповідає моделі рельєфу (DEM) базової карти, об'єкт виглядатиме "повішеним" або "зануреним". Це вимагає використання інструментів редагування Multipatch Feature Class для точного вирівнювання основи дзвіниці чи контуру джерела відповідно до поверхні DTM.

Процес інтеграції починається зі створення 3D–сцени в настільній ГІС–системі (наприклад, ArcGIS Pro). Сцена має містити точну модель рельєфу (DTM), необхідну для коректного відображення природної пам'ятки та основи дзвіниці.

Для досягнення максимального реалізму, особливо у візуалізації культурної спадщини, рекомендується використовувати сучасні фотореалістичні базові карти. Наприклад, ArcGIS Pro підтримує використання Google Photorealistic 3D Basemap (у бета–режимі) [56]. Використання такої основи забезпечує реалістичне представлення навколишнього середовища, що сприяє кращому "тривимірному мисленню" та контекстуалізації об'єктів спадщини.

Ключовим елементом інтеграції 3D–моделей в професійну ГІС–систему (як–от ArcGIS) є клас об'єктів **Multipatch Feature Class**. Це геопросторовий

контейнер, який може зберігати складну тривимірну геометрію, отриману з GLTF, OBJ, DAE, тощо, і при цьому мати пов'язану атрибутивну таблицю [54].

Для додавання моделей:

1. **Конвертація в Multipatch:** Якщо існує багато моделей з Placement Points, використовується інструмент геопроецювання Import 3D Files для конвертації форматів GLTF, OBJ, DAE у Multipatch Feature Class [54].

2. **Ручне додавання:** Якщо об'єкт є унікальним (як дзвіниця чи джерело) і розміщується без точних Placement Points, його можна додати вручну. На вкладці "Редагування" (Edit tab) обирається інструмент Model File tool у вікні Create Features. Це дозволяє вибрати модель (наприклад, GLTF) і інтерактивно розмістити її в сцені, налаштовуючи розмір, обертання та позицію [55].

Для забезпечення високоякісної візуалізації недостатньо лише точного розміщення моделі; необхідно налаштувати її рендеринг. Це особливо важливо для інтеграції реалістично відсканованих об'єктів, які повинні гармонійно виглядати на фотореалістичній базовій карті.

- **Символіка:** Хоча 3D-об'єкти можуть бути символізовані за атрибутами (наприклад, за роком побудови) [59], для унікальних об'єктів спадщини зазвичай використовується символіка Single Symbol, де сама 3D-модель виступає як символ.

- **Властивості освітлення:** Освітлення має вирішальне значення для сприйняття текстури, глибини та тіней. Для шарів, що використовують Multipatch або точкові об'єкти з 3D-моделями, можна змінити властивості освітлення для покращення вигляду [60]. Налаштування параметрів освітлення (наприклад, інтенсивності розсіяного світла Ambient та спрямованого світла Directional Light, яке імітує сонце) забезпечує реалістичне відображення тіней, що має відповідати освітленню базової карти.

- **Face Culling:** Ця властивість контролює, які грані об'єкта є видимими. Вона може бути корисною для архітектурного аналізу, дозволяючи візуально "зазирнути" всередину дзвіниці, дивлячись крізь передню або задню частину моделі [59].

Крім того, оскільки сучасні формати, як GLTF, використовують моделі Physically Based Rendering (PBR), необхідно переконатися, що параметри матеріалів моделі (такі як шорсткість, металічність, основний колір), були належним чином налаштовані під час моделювання. Це забезпечить, що імпортований об'єкт коректно взаємодітиме з динамічним освітленням ГІС-сцени [52].

Кожен 3D-об'єкт, представлений у Multipatch Feature Class, має свій запис у таблиці атрибутів. Необхідно додати спеціалізовані поля для зберігання історичних даних, таких як Дата_Заснування, Історичний_Опис, Матеріали_Будівництва, а також службової інформації (дата сканування, метод зйомки).

Важливо розуміти, що 3D-моделі (GLTF/OBJ) зазвичай зосереджені на візуальному аспекті. Атрибутивна таблиця ГІС забезпечує додавання інформації, яка може бути інженерною (з BIM/CAD даних) або історичною, перетворюючи візуалізацію на інтелектуальну просторову модель [54].

Pop-ups є основним механізмом для відображення атрибутивної інформації при кліку на 3D-об'єкті. Для забезпечення високої інформативності їх слід ретельно конфігурувати.

Конфігурація Pop-ups передбачає додавання:

1. **Заголовок:** Який може містити статичний текст або бути динамічно сформований на основі атрибутивних полів або виразів [61].
2. **Контенту:** Включаючи комбінацію статичного тексту та динамічних значень полів (Field Values). Також можна додавати медіа-елементи, такі як зображення дзвіниці або архівні фотографії [45].

Сучасні ГІС-платформи (наприклад, ArcGIS) дозволяють використовувати мову виразів **Arcade** для розширеного налаштування Pop-ups [61]. Arcade дає можливість обчислювати значення на льоту (наприклад, розрахувати точний вік дзвіниці на основі дати заснування) або створювати складні елементи, такі як діаграми або форматований текст, які відображаються у спливаючому вікні [42].

Для професійного документування культурної спадщини необхідний механізм управління великою кількістю метаданих (наприклад, десятки історичних документів, реставраційних звітів, технічних паспортів), яка не повинна зберігатися безпосередньо у головній атрибутивній таблиці Multipatch.

Це досягається шляхом встановлення зв'язків **Related Records** (пов'язаних записів) між 3D-об'єктом та зовнішніми таблицями. Встановлюється зв'язок один-до-багатьох (наприклад, одна дзвіниця до багатьох реставраційних звітів). Потім, у налаштуваннях Pop-up, додається вміст "Related records", який дозволяє користувачеві переглядати списки всіх пов'язаних записів, надаючи доступ до глибокої документації [45]. Це перетворює 3D-модель із просто візуалізації на повноцінний цифровий наративний шар для управління архівом спадщини.

Для роботи з 3D-даними та атрибутивною інформацією необхідні потужні настільні ГІС.

ArcGIS Pro є лідером для професійної інтеграції. Він підтримує широкий спектр 3D-форматів (GLTF, OBJ, DAE, FBX) та дозволяє імпортувати їх у Multipatch Feature Class, що є основою для подальшого аналізу та редагування [54]. ArcGIS Pro надає повний контроль над атрибутивними даними, освітленням сцени²⁰ та налаштуванням розширених Pop-ups з використанням Arcade [61].

QGIS є відкритою альтернативою. Він має вбудоване 3D-вікно і, завдяки плагіну **Qgis2threejs**, дозволяє генерувати файли для веб-публікації та зберігати 3D-моделі у форматі GLTF [47]. QGIS є гнучким інструментом для експертів, що працюють із відкритими стандартами.

Програмне забезпечення для моделювання, таке як **Agisoft Metashape**, є критичним для створення хмари точок та експорту високоякісної текстурованої сітки безпосередньо у формат GLB з вбудованими текстурами [43]. Для подальшої оптимізації полігонажу (ретопології) та забезпечення реалістичного PBR-текстурування (roughness, base color), а також для скульптингу рельєфу навколо природного джерела, може використовуватися відкрита програма **Blender** [62].

Для вирішення складних завдань конвертації між форматами (особливо LAS до GLTF, де можуть виникати проблеми із збереженням кольору [51]) рекомендується використовувати інструменти ETL (Extract, Transform, Load), такі як **FME (Feature Manipulation Engine)**, які забезпечують точне збереження просторової прив'язки та атрибутів під час переходу між форматами (Таблиця 3.1.2).

Таблиця 3.1.2

Матриця конвертації 3D-форматів для інтеграції у ГІС

Етап/Джерело	Вихідний Формат (Приклади)	Цільовий ГІС-Формат	Рекомендований Інструмент
Фотограмметрія/Сканування	Хмара точок (LAS, E57), Сітка (OBJ, PLY)	GLTF/GLB (з вбудованою текстурою)	Agisoft Metashape, Blender, FME
ГІС Інтеграція (Desktop)	GLTF, OBJ, DAE	Multipatch Feature Class (MFF)	ArcGIS Pro: Import 3D Files
Веб-публікація	Multipatch, GLTF	3D Tiles (I3S/B3DM)	ArcGIS Scene Layer Package, Cesium ion

Для публікації інтерактивних 3D-сцен у мережі інтернет використовуються спеціалізовані платформи:

- **ArcGIS Scene Viewer:** Надає можливість публікації 3D Object Scene Layer безпосередньо з ArcGIS Pro (або ArcGIS Online). Це забезпечує збереження всіх налаштованих атрибутів, Pop-ups та зв'язків (Related Records), роблячи 3D-візуалізацію доступною для широкої аудиторії.
- **CesiumJS:** Це провідна відкрита платформа для створення 3D геопросторових веб-додатків. Вона оптимізована для рендерингу великих обсягів даних за допомогою стандарту **3D Tiles** [48]. CesiumJS дозволяє візуалізувати дані на найбільш точному русії рендерингу. Використання 3D Tiles (або I3S Scene Layers) є стратегічно важливим для масштабованості, оскільки якщо проект буде розширено на велику кількість об'єктів спадщини,

потоків передача даних (streaming) буде набагато ефективнішою, ніж завантаження індивідуальних GLTF-файлів [48].

Таблиця 3.1.3

**Порівняння основних ГІС-інструментів для 3D-візуалізації
спадщини**

Характеристика	ArcGIS Pro	QGIS	CesiumJS (Web Platform)
Основна функція	Настільна 3D-аналітика, професійний геопроектинг	Настільна 3D-візуалізація, Open Source, гнучкість	Високопродуктивний 3D-глобальний рендеринг у браузері
Підтримка 3D-моделей	GLTF, OBJ, DAE (через Multipatch)	OBJ, PLY, GLTF (через плагіни)	GLTF/GLB, 3D Tiles (Оптимально)
Атрибутивне управління	Повноцінні таблиці, Pop-ups з Arcade, Related Records	Атрибутивні таблиці, базові можливості Pop-ups	Інтеграція атрибутів через GeoJSON або API до 3D-об'єктів
Географічна точність	Висока, підтримка GCPs	Висока, відкриті стандарти	Висока, глобальний рендеринг

Створення високоточної картографічної візуалізації сканованих 3D-об'єктів спадщини у ГІС-середовищі вимагає дисциплінованого, багатоетапного робочого процесу, який охоплює збір даних, стандартизацію форматів, інтеграцію та управління атрибутами.

Для забезпечення успіху проекту необхідно дотримуватись таких ключових вимог:

- **Стандартизація Формату:** Використання формату GLTF/GLB є обов'язковим для забезпечення сумісності 3D-моделей дзвіниці та джерела з усіма сучасними настільними та веб-ГІС-платформами. Цей формат гарантує оптимальну продуктивність та збереження візуальних властивостей.

- **Геометрична Точність:** Висока якість візуалізації залежить від точної геоприв'язки за допомогою Наземних Контрольних Точок (GCPs), які

мінімізують спотворення та забезпечують коректне Z–позиціонування об'єктів відносно моделі рельєфу.

▪ **Створення Інтелектуального Шару Даних:** Інтеграція атрибутивної інформації, такої як дата заснування та опис, має бути реалізована через гнучку структуру даних. Налаштування спливаючих вікон (Pop-ups) та використання механізму Related Records забезпечує можливість зв'язати візуальну модель з необмеженим обсягом документації (фотоархіви, історичні звіти), перетворюючи 3D–модель на комплексний інструмент документування спадщини [41].

Застосування 3D ГІС–платформ у цій галузі демонструє високу масштабованість, що робить цей підхід придатним для розширеного використання у подальших проєктах зі збереження спадщини. Створена 3D ГІС–сцена може слугувати основою для систематичного моніторингу, порівняння стану об'єктів у часі (виявлення деформацій) та використання в освітніх та туристичних додатках (VR/AR).

3.2. Програмно–технічна реалізація інтерактивної карти громади.

Для побудови інтерактивної карти об'єктів історико–культурного значення скористаємось безкоштовним Веб ресурсом Google My Maps (рис. 3.2.1)



Рисунок 3.2.1 – Використовуваний веб застосунок

Натискаємо на вкладку “Створити нову карту”, відкривається робоче середовище (рис 3.2.2) після чого натискаємо на вкладку для додавання нового шару.

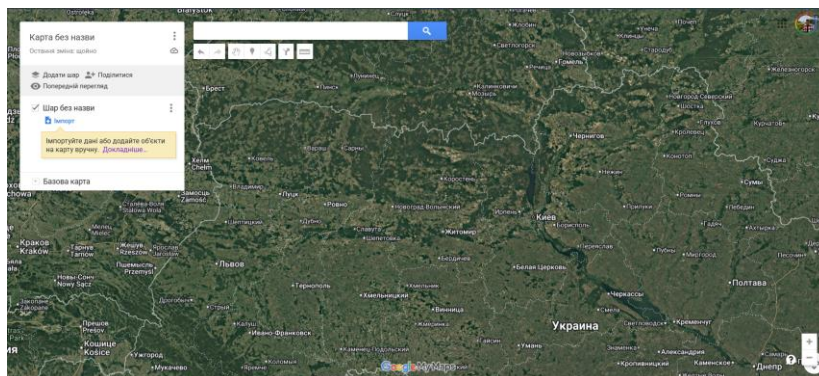


Рисунок 3.2.2 – Вигляд робочого середовища ресурсу

При відкритті з'являється пуста таблиця яку ми наповнюємо даними про об'єкти, а саме(рис 3.2.3, 3.2.4) :

- Назва об'єкту;
- Короткий опис;
- Адреса розташування;
- Координати;
- Датування пам'ятки;
- Вид пам'ятки;
- Стан об'єкту.

Шар без назви							
Знайти у таблиці							
	назва	опис	Адреси	Координати	Датування	Вигляд пам'ятки	Стан Об'єкту
1	Архітектурна пам'ятка Церква Зачатія Святої Ганни та дерев'яна двоярусна дзвіниця при ній						
2	"Природний джерело"						

Add row

Рисунок 3.2.3 – Таблиця для додавання даних

Шар без назви

Пошук у таблиці

1-2 із 2

№	Назва	опис	Адреса
1	"Природне джерело"	Гідрологічна пам'ятка природи місцевого значення "Природне джерело". Природне джерело – гідрологічна пам'ятка природи місцевого значення в Україні. Розташована в межах Рівненського району Рівненської області, при північно-східній околиці села Хотин. Площа 0,3 га. Статус надано згідно з рішенням облвиконкому від 22.11.1983 року № 343. Перебуває у віданні Шпанівської сільської ради. Статус надано для збереження джерела природного походження з чистою водою. Джерело розташована на стрімкому лівобережному схилі долини річки Горинь. Мальовниче джерело з надзвичайно прозорою водою, яке гармонійно вписується в загальний краєвид. Джерело висхідного типу в основі горба, приблизно на 8–9 м вище урізу води р.Горинь. Джерело окультурене, глибина – 0,85 м. Витікає з-під пагорба, в основі складеного крейдовими породами. Вода прозора, приємна на смак. Мовчазним сторожем "стоїть" над джерелом розлогий красень ясен, обхват стовбура якого сягає 4,4 м	с. Хотин, Рівненського Рівненської області вул Кри
2	Архітектурна пам'ятка Церква Зачатія Святої Ганни, та дерев'яна двоярусна дзвіниця при ній	Архітектурна пам'ятка Церква Зачатія Святої Ганни, та дерев'яна двоярусна дзвіниця при ній (1769 р). Збудована у 1769 році на кошти поміщика Антонія Богуша та	с. Хотин, Рівненського Рівненської області вул Шеє 1

Add row

Рисунок 3.2.4 – Заповнена таблиця з даними

Натискаючи ПКМ на область таблиці обираємо місцеположення – змінити на маркер (рис 3.2.5), після чого наводимо маркером на карті та фіксуємо місцерозташування.

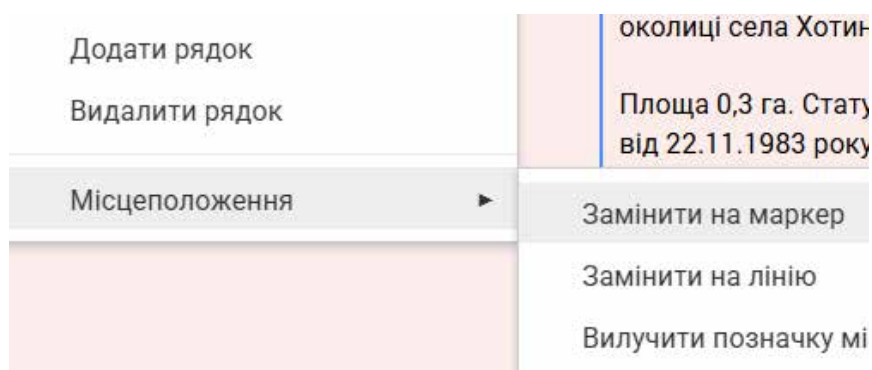


Рисунок 3.2.5 – Встановлення місцезнаходження об'єктів

Після встановлення маркера, автоматично до нього підтягнулася інформація додана про об'єкт в таблицю (рис 3.2.6).

Залишається додати до маркера медіафайли, такі як фото та відео (рис 3.2.7).

Все готово до публікації картографічного подання у відкритий ресурс (рис 3.2.8).



Рисунок 3.2.6 – Відображення маркера з інформаційним табло обраного об'єкта

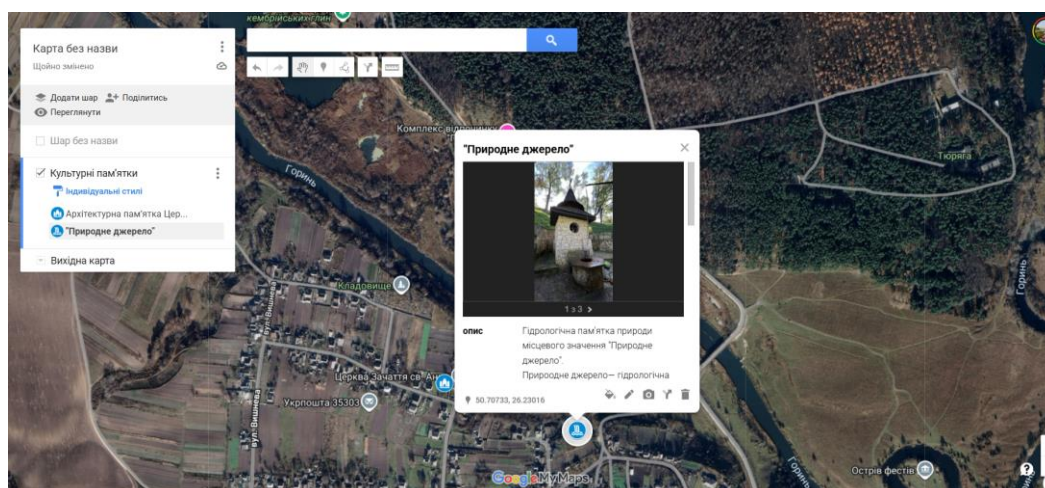


Рисунок 3.2.7 – Додавання мультимедійного матеріалу про об'єкт

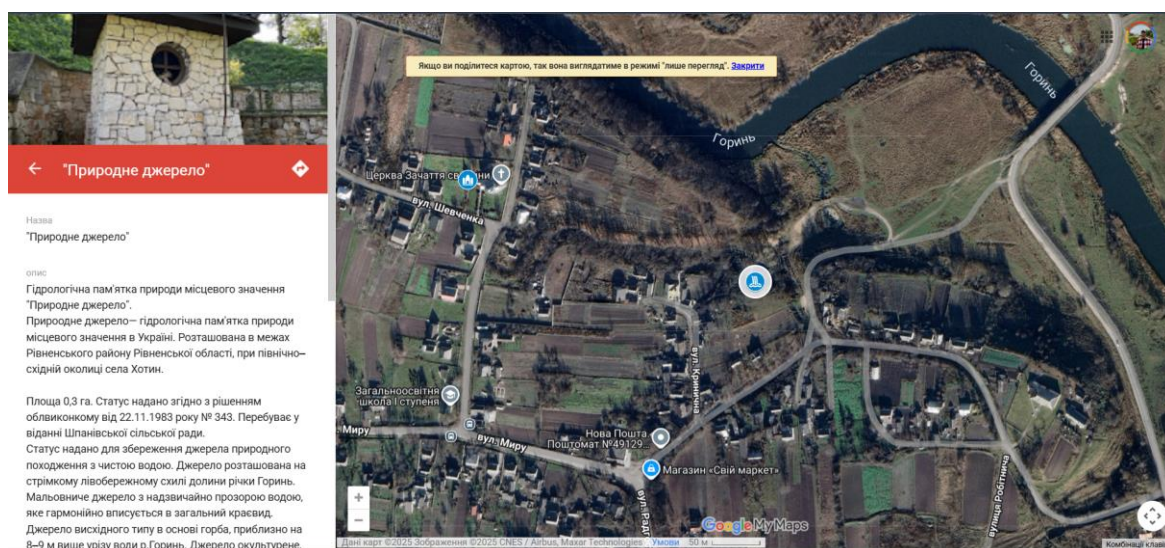


Рисунок 3.2.8 – Опублікована карта

3.3. Можливості використання карти у сфері туризму, освіти та збереження культурної спадщини.

Створення інтерактивної карти історико–культурних об'єктів являє собою стратегічний крок у цифровій трансформації сфери культурної спадщини. Ця платформа перетворює пасивні, часто несистематизовані дані на динамічні геопросторові ресурси, що служать потребам моніторингу, освіти та сталого туризму. В умовах сучасних викликів, зокрема збройного конфлікту та необхідності документування руйнувань, геоінформаційна система (ГІС) є єдиним комплексним інструментом для швидкої фіксації, аналізу та захисту спадщини. [28] Ефективна платформа має виходити за рамки простої візуалізації, інтегруючи розширений функціонал управління, моніторингу та залучення громадськості.

Сучасні умови цифровізації вимагають ефективних засобів для відображення та управління культурними ресурсами. Залишається актуальною проблема систематизації тисяч об'єктів спадщини, як це було продемонстровано досвідом Львівської області, де понад вісім тисяч об'єктів перенесли в ГІС України [29]. Вебкартографія дозволяє інтегрувати просторові та тематичні дані, що є важливим засобом для збереження, популяризації та забезпечення доступу до історико–культурної спадщини в цифровому просторі [30]. Це особливо стосується цінних, але часто несистематизованих джерел, таких як дані про постмілітарні об'єкти [30].

Для досягнення стратегічних цілей необхідно використовувати карти з розширеними можливостями. Інтерактивні карти поділяються за функціональністю, від найпростіших до складних. Для цілей управління, моніторингу та освітньої кастомізації необхідна платформа так званого «третього типу». Такі карти передбачають можливість реалізації проєктів із помірним рівнем кастомізації, а головне — мають функцію ідентифікації та фіксації маркерів об'єктів [31]. Це є критично важливим, оскільки це перетворює карту з простого візуалізатора на повноцінну *систему управління* культурною

спадщиною, яка може інтегруватися з підсистемами охоронних зон [32] та іншими державними реєстрами.

Фундаментальним етапом створення ГІС–платформи є забезпечення достовірності та цілісності даних. Це включає складну процедуру збору, обробки, верифікації та валідації даних, а також їх точну геоприв'язку [29]. Така ретельна перевірка є необхідною умовою для інтеграції карти у національну інфраструктуру геопросторових даних [29]. У контексті документування пошкоджень, спричинених конфліктом, ця верифікація набуває юридичного значення, оскільки достовірні дані необхідні для судово–медичної документації військових злочинів [28]. Таким чином, технічні вимоги до даних повинні відповідати не лише туристичним та освітнім потребам, але й міжнародним стандартам судової експертизи.

Сучасна ГІС–платформа має включати підсистему візуалізації об'єктів культурної спадщини у 3D форматі [32]. Окрім статичних 3D–моделей, критично важливо дослідити та впровадити технології доповненої та віртуальної реальності (AR/VR) [33]. Ці технології дозволяють користувачам взаємодіяти з історичними об'єктами в імерсивний спосіб, що значно покращує досвід як туристів, так і дослідників.

Залучення громадськості до процесу формування цифрової колекції є стратегічно важливим. Платформа повинна підтримувати краудсорсинг, геопросторову візуалізацію та взаємодію з цифровими історичними архівами [34]. Це дозволяє не лише відображати, але й поповнювати базу історичних світлин міста з геоприв'язкою, роблячи її доступною для широкого кола користувачів [34]. Таке залучення громадян сприяє розвитку локальної ідентичності, підвищує зацікавленість історією міста та відкриває нові можливості для досліджень у сфері цифрової гуманітаристики [34]. Карта, інтегрована з механізмами краудсорсингу, перетворює громадян на активних учасників процесу збереження та ідентифікації культурних артефактів.

Вебкартографія є потужним інструментом для популяризації спадщини та забезпечення широкого доступу [30]. Інтерактивна карта дозволяє

систематизувати історичну інформацію, яка раніше була фрагментованою та складною для доступу. Наприклад, створення вебсервісу інтерактивних карт постмілітарних об'єктів Львівської області стало важливим засобом для інтеграції цієї специфічної історико–культурної спадщини у цифровий простір, інтегруючи просторові та тематичні дані [30]. Завдяки такій систематизації, карта перетворюється на динамічну платформу, здатну формувати нові регіональні кластери та тематичні маршрути, перетворюючи історичні факти на туристичні активи та сприяючи економічному розвитку регіонів.

Система з геоприв'язкою, що відображає історичний контент, є ефективним засобом для підвищення зацікавленості історією міста та регіону. Залучення громади до наповнення та використання карти посилює локальну ідентичність [34]. Користувачі, які взаємодіють з історичним контекстом свого безпосереднього оточення, розвивають глибше відчуття приналежності та відповідальності за збереження спадщини.

Ефективність карти в туризмі прямо залежить від якості контенту. Мобільні додатки, інтегровані з картою, повинні надавати відвідувачам багатий мультимедійний вміст, включаючи захоплюючий текст, фотографії, відео та кругові огляди про біорізноманіття, спадщину та історичні місця [35]. Це забезпечує повноцінний та інформативний досвід, необхідний для сучасного туриста.

Мобільний застосунок є невід'ємною частиною інтерактивної карти, забезпечуючи зручність використання та доступність. Додаток повинен пропонувати інтуїтивну навігацію, детальні карти та важливу інформацію про місця, що відвідуються [35]. Критичним елементом є безпека даних. Розробка повинна гарантувати, що дані не передаються третім сторонам, а інформація передається в зашифрованому вигляді, дотримуючись правил конфіденційності та дозволяючи користувачам надіслати запит на видалення своїх даних [35].

Технології доповненої (AR) та віртуальної (VR) реальності відкривають нові горизонти для презентації культурної спадщини [33]. AR може використовуватися для сценаріїв супроводу користувачів на місці, накладаючи

історичні шари або реконструкції на реальне середовище. VR сприяє розвитку віртуального туризму [33]. Цей напрямок набуває особливої актуальності для об'єктів, які є географічно віддаленими, мають обмежений доступ, або, що найбільш важливо, розташовані на тимчасово окупованих чи зруйнованих територіях. Віртуальний туризм дозволяє залучити аудиторію попри фізичні обмеження.

Водночас, використання імерсивних технологій для реконструкції зруйнованих об'єктів вимагає етичного обґрунтування. Оскільки багато об'єктів були пошкоджені внаслідок військових злочинів [28], важливо розробити протокол візуалізації, який чітко розрізняє *попередній* стан об'єкта та *поточний* рівень руйнувань. Такий підхід гарантує, що віртуальні реконструкції слугують не лише освітнім або розважальним цілям, але й документуванню завданих втрат.

ГІС–платформа є основою для створення спеціалізованих освітніх просторів. Прикладом може слугувати створення лабораторії оцифрування культурної спадщини, яка виконуватиме функції освітнього простору для навчання майбутніх фахівців з оцифрування [38]. Карта та пов'язана з нею база даних слугують інструментом для практичного навчання фахівців з ГІС–технологій, картографії та роботи з базами даних, які застосовуються для аналізу ландшафтів, населення, рекреації та довкілля [30]. Інвестиції в такі лабораторії — це інвестиції у технологічний та інтелектуальний капітал регіону, що забезпечує стійкість системи у майбутньому через підготовку кваліфікованих кадрів.

Інтерактивні карти та віртуальні музеї є сучасними технологіями, які створюють більш захоплюючі та інтерактивні умови для вивчення історії та географії [36]. Застосування карти в освітньому процесі дозволяє здобувачам освіти без фізичної присутності занурюватися в атмосферу певної епохи та дізнаватися про побутові предмети чи історичні події [36]. Використання віртуальних екскурсій та інтерактивних методів навчання забезпечує

безперервність культурної освіти, навіть якщо фізичний доступ до об'єктів обмежений.

Важливим аспектом сучасних освітніх модулів є забезпечення безбар'єрності. При розробці освітніх просторів та контенту, інтегрованого з картою, необхідно враховувати потреби людей з порушенням зору та слуху [38]. Це гарантує інклюзивність навчального процесу та розширює доступ до культурної спадщини для всіх верств населення.

Інтерактивні карти виступають як ефективна форма презентації архівних джерел та історичних візуальних матеріалів [31]. Вони дозволяють дослідникам збирати, обробляти та візуалізувати дані [34]. Інтеграція просторового аналізу, підтримуваного картою, відкриває нові можливості для досліджень у сфері цифрової гуманітаристики, забезпечуючи ефективне управління історичними ресурсами [34].

Карта є основою для формування цифрових архівів, зокрема електронних книг пам'яті [38]. Завдяки функції геоприв'язки та краудсорсингу, дослідники можуть залучати громадськість до поповнення цих баз даних, а також ефективно працювати з великими масивами географічних даних, необхідних для аналізу ландшафтів, населення, та сталої регіональної динаміки [30].

Геоінформаційна система є критичним інструментом для управління об'єктами культурної спадщини, забезпечуючи підсистеми для відображення та контролю охоронних зон [32]. Вона дозволяє реалізовувати проекти з фіксацією маркерів об'єктів [31], що є необхідним для оперативного управління, видачі дозволів та регулювання забудови навколо пам'яток.

Особливе стратегічне значення ГІС набуває в умовах збройного конфлікту. Міжнародні ініціативи, такі як Смітсонівська ініціатива з порятунку культурної спадщини (SCRI), проводять моніторинг понад 28 000 об'єктів в Україні [28].

Методологія моніторингу спирається на технологію дистанційного зондування, яка розпізнає незвичайні інфрачервоні сигнатури, що вказують на збройний конфлікт (на відміну від сільськогосподарської пожежі), для виявлення

потенційної шкоди. Станом на січень 2023 року було виявлено потенційну шкоду 1595 об'єктам [28].

Виявлена потенційна шкода підтверджується за допомогою багаторівневої верифікації: аналіз супутникових знімків із високою роздільною здатністю, огляд новин із відкритих джерел (OSINT) і соціальних мереж, а також відвідування місць українськими експертами, які пройшли підготовку з судово-медичної документації [28]. Ця сувора методологія перетворює ГІС на інструмент судової експертизи (Geo-Forensic GIS), здатний збирати юридично значущі докази.

Достовірне документування фактів знищення культурної спадщини має вирішальне значення для притягнення порушників до відповідальності, оскільки навмисне знищення культурної спадщини під час збройного конфлікту кваліфікується як військовий злочин відповідно до Гаазької конвенції 1954 року [28]. Звіти та висновки, отримані завдяки цьому моніторингу, регулярно публікуються через центральні центри, такі як Обсерваторія конфліктів [28], забезпечуючи широкий доступ до доказів військових злочинів.

Громадськість відіграє вирішальну роль у захисті спадщини, і інтерактивна карта є ідеальним інтерфейсом для інституціоналізації цієї участі. Міністерство культури та інформаційної політики вже впровадило якісно новий механізм захисту — «Картку виявлення об'єкта культурної спадщини», закликаючи небайдужих подавати свої пропозиції та інформацію [37].

Інтерактивна карта, особливо через мобільний застосунок, повинна підтримувати цей механізм, дозволяючи користувачам швидко повідомляти про небезпеки або ділитися пропозиціями безпосередньо команді керування [35]. Це створює двосторонній зв'язок, перетворюючи громадян на "цифрових охоронців". Важливо, щоб карта не просто приймала дані, а й автоматично інтегрувала ці подання у професійний робочий процес, що включає розгляд Науково-методичною радою та Експертною комісією [37]. Це забезпечує швидкий перехід від виявлення об'єкта громадянином до його офіційного захисту.

Одним із головних викликів у культурному секторі є некоординована підтримка та дублювання зусиль з боку донорських організацій [39]. Відсутність загальної мапи донорської допомоги призводить до того, що кілька ініціатив працюють паралельно з одними й тими ж темами, залишаючи інші поза увагою [39]. Інтерактивна карта може виступати як національний механізм координації та візуалізувати потреби та існуючі проекти, підвищуючи свою стратегічну важливість для системних міжнародних партнерів.

Успіх ГІС-платформи залежить від її довгострокової життєздатності. Критично важливим є забезпечення регулярного технічного обслуговування та супроводу геоінформаційної системи [32]. Ця вимога має бути закладена у фінансовий план проекту з самого початку, оскільки складні системи потребують постійної підтримки та оновлення даних.

Для забезпечення фінансової стабільності необхідно орієнтуватися на системну кластерну підтримку, фокусуючись на довгих програмах, а не лише на одноразових грантах [39]. Слід активно залучати міжнародне фінансування. Прикладом успішного залучення є фінансова підтримка ЮНЕСКО, яке виділяє кошти коштом Надзвичайного фонду спадщини [40]. Позиціонування карти як національного інфраструктурного проекту підвищує його привабливість для стратегічних донорів.

Для максимальної користі та інтеграції даних необхідно забезпечити їх відкритість та легальність використання. Важливим кроком є перенесення даних про об'єкти культурної спадщини на електронну карту геоінформаційного порталу та до національної інфраструктури геопросторових даних [29]. Рекомендується використовувати відкриті ліцензії, наприклад, Creative Commons Attribution 4 [29], що дозволяє широке, легальне використання оцифрованих даних науковцями, туроператорами та розробниками, перетворюючи дані на національний геопросторовий актив.

Враховуючи чутливість даних, особливо в умовах конфлікту, а також необхідність захисту приватної інформації користувачів, безпека є пріоритетом. Необхідно дотримуватися суворих протоколів, що гарантують, що дані не

передаються третім сторонам, а інформація передається в зашифрованому вигляді [35]. У мобільних застосунках користувачі мають бути поінформовані про збір даних, а також мати можливість подати запит на їх видалення [35].

Інтерактивна карта історико–культурних об’єктів не є лише технологічною ініціативою, а багатофункціональною платформою, що забезпечує синергію між державним управлінням, науковими дослідженнями, освітнім процесом та економічним розвитком (туризмом). Реалізація цього проєкту має бути стратегічно орієнтована на перетворення карти на ГІС управління та інструмент судової документації.

ВИСНОВКИ

У даній магістерській кваліфікаційній роботі досягнуто поставленої мети – розроблено концептуальні основи та практичну реалізацію інтерактивної карти об'єктів історико–культурної спадщини Шпанівської територіальної громади із застосуванням LiDAR та ГІС технологій.

Теоретико–методичні основи були опрацьовані шляхом аналізу законодавства у сфері охорони спадщини та огляду сучасних методів цифрового картографування, включаючи ГІС, дистанційне зондування, 3D–картографію, LiDAR та вебкартографію. Було встановлено, що сучасне цифрове картографування є комплексом процесів, де ГІС виступає основним інструментом інтеграції векторних і растрових даних.

Методичні основи та збір даних включали характеристику території дослідження та опис цінних об'єктів (Церква Зачаття Святої Ганни та "Природне джерело"). Розроблена методика польового знімання за допомогою смартфона з LiDAR–сканером дозволила створити 3D–моделі, точність яких була підтверджена розрахунком відносної похибки, що склала приблизно 2.04%. Також була розроблена діаграма класів (UML–модель) бази геоданих, яка описує структуру системи для каталогізації об'єктів, зберігання 3D–даних та відстеження взаємодій користувачів.

Формування та практичне застосування інтерактивної карти було продемонстровано шляхом її програмно–технічної реалізації на безкоштовному веб–ресурсі Google My Maps. Для професійної інтеграції 3D–даних було обґрунтовано необхідність використання формату GLTF/GLB та класу об'єктів Multipatch Feature Class у професійних ГІС–системах (наприклад, ArcGIS Pro). Аналіз показав, що інтерактивна карта є багатофункціональною платформою, яка має стратегічне значення не лише для туризму та освіти, а й для юридично значущої судової документації руйнувань культурної спадщини в умовах збройного конфлікту. Це підтверджує, що впровадження цієї ГІС–платформи забезпечує синергію між державним управлінням, наукою, освітою та стійким економічним розвитком регіону.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Про затвердження Порядку ведення Державного земельного кадастру (додатки 2–57 до Порядку) : Постанова Каб. Міністрів України від 17.10.2012 № 1051 : станом на 11 січ. 2025 р.
URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/10516-2012-p#Text> (дата звернення: 17.03.2025).
2. Міністерство культури та стратегічних комунікацій України. *Міністерство культури та стратегічних комунікацій України*.
URL: <https://e-pamiatka.gov.ua/map?type=placed> (дата звернення: 30.10.2025).
3. Про охорону культурної спадщини : Закон України від 08.06.2000 № 1805–III : станом на 30 серп. 2025 р.
URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1805-14#Text> (дата звернення: 25.09.2025).
4. Герелюк, Т. Б. (2019). РОЗУМІННЯ ОБ’ЄКТІВ АРХЕОЛОГІЧНОЇ ТА КУЛЬТУРНОЇ СПАДЩИНИ ЗА ЗАКОНОДАВСТВОМ УКРАЇНИ Й КРАЇН СХІДНОЇ ЄВРОПИ. *Науковий вісник Міжнародного гуманітарного університету. Серія: Юриспруденція*, 139–142.
5. Каткова Т.Г. Поняття культурної спадщини за міжнародним та українським законодавством. *Право і безпека*. 2005. Т. 4. № 5. С. 148–152.
6. Towards a Systematic Approach to Digital Technologies for Heritage Conservation. Insights from Jordan / C. Trillo et al. *De Gruyter Brill*.
URL: <https://www.degruyterbrill.com/document/doi/10.1515/pdte-2020-0023/html> (date of access: 25.09.2025).
7. Вознюк, Н. М., & Собко, З. З. (2018). Агрокліматичне районування території Рівненської області. *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Сільськогосподарські науки*, (1), 51–59.
8. Інтерактивна карта ґрунтів України. Superagronom.com. [URL: https://superagronom.com/karty/karta-gruntiv-ukrainy#close](https://superagronom.com/karty/karta-gruntiv-ukrainy#close) (дата звернення: 06.10.2025).

9. Гвоздев, Д. О. (2018). ВОДНІ РЕСУРСИ УКРАЇНИ ТА ЇХ ЕКОЛОГІЧНИЙ СТАН.
10. Історія та легенди сіл Рівненського району. Острог : Нац. ун–т "Острозька акад.", 2012. 260 с.
11. Учасники проектів Вікімедіа. Природне джерело (пам'ятка природи) – Вікіпедія. *Вікіпедія*. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Природне_джерело_\(пам'ятка_природи\)](https://uk.wikipedia.org/wiki/Природне_джерело_(пам'ятка_природи)) (дата звернення: 07.10.2025).
12. Заповідні об'єкти Рівненського району – Сторінка 4 – GeoShow. Wayback Machine. URL: <https://web.archive.org/web/20170427230823/http://pzf.rv.ua/archives/category/zo/rivne/page/4> (дата звернення: 07.10.2025).
13. Про природно–заповідний фонд України. *Офіційний вебпортал парламенту України*. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/2456–12#Text> (дата звернення: 07.10.2025).
14. ДАНІЛОВА Н. В. ЦИФРОВІ ПЛАНИ І КАРТИ: Конспект лекцій. Одеса : ОДЕУ, 2023. 123 с.
15. Ковальчук І. П., Юхимюк В. О., Богданець В. А. МЕТОДИКА І РЕЗУЛЬТАТИ СТВОРЕННЯ 3D МОДЕЛЕЙ ІСТОРИКОКУЛЬТУРНИХ ОБ'ЄКТІВ З ВИКОРИСТАННЯМ СМАРТФОНА, ОСНАЩЕНОГО LIDAR–СКАНЕРОМ. *Землеустрій, кадастр і моніторинг земель*. 2024. № 4. С. 90–98.
16. 10 цікавих способів використовувати LiDAR на вашому iPhone та iPad. [Електронний ресурс] / Режим доступу: <https://mezha.media/articles/yak-vykorystovuvaty-lidar-na-iphone-ta-ipad>
17. Коцюбівська К., Баранський С. (2020). 3D–моделювання при відновленні історико–культурних цінностей. *Цифрова платформа: інформаційні технології в соціокультурній сфері*, № 3(1), С. 59–68. DOI: <https://doi.org/10.31866/2617–796x.3.1.2020.206109>
18. Polysam – AI інструмент для створення 3D моделей за допомогою мобільного сканування. [Електронний ресурс] / Режим доступу:

<https://www.komarov.design/polycam-ai-instrument-dlia-stvoriennia-3d-modieliei-za-dopomoghoiu-mobilnogho-skanuvannia>

19. Принципи створення 3D моделей. [Електронний ресурс] / Режим доступу: https://addtive.com.ua/shcho_take_3d_modelyuvannya

20. Shevchenko O., Mykhailyk K., Pron O., Moskalenko A., Illiashov I. (2024). Features of 3D modelling of building facades using i89 GNSS receiver with dual camera. International Conference of Young Professionals "GeoTerrace 2024", P.1–5. Published by European Association of Geoscientists & Engineers. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2024510050>

21. 3D пам'ятки: технологія створення цифрових версій об'єктів культури. [Електронний ресурс] / Режим доступу: <https://mesc.gov.ua/news/3d-pamyatky-tehnologiya-stvorennya-zyfrovyh-versij-obyektiv-kultury>

22. Товбич, В., Попович, Є. (2023). Засоби та методи 3–D сканування для створення фантомних моделей архітектурних об'єктів. Сучасні проблеми Архітектури та Містобудування, (67), 372–381. URL: <https://doi.org/10.32347/2077-3455.2023.67.372-381>

23. Бадяк В. Нормативно–правова охорона культурної спадщини. *ВІСНИК Львівської національної академії мистецтв*. 2016. № 28. С. 331–333.

24. Єфремов, М. Ф., Єфремов, Ю. М., & Єфремов, В. М. (2016). Проектування програмного забезпечення з використанням UML.

25. *Кафедра ММСА* | URL: http://mmsa.kpi.ua/sites/default/files/disciplines/Розробка%20i%20тестування%20програм/didkovska_m_v_testing_lecture_6.pdf (дата звернення: 27.10.2025).

26. Афанасьєв, О. В., & Євдокімов, А. А. (2022). Засоби автоматизації створення карт: конспект лекцій для здобувачів третього (освітньо–наукового) рівня вищої освіти зі спеціальності 193–Геодезія та землеустрій.

27. *Кафедра ММСА* | URL: http://mmsa.kpi.ua/sites/default/files/disciplines/Розробка%20i%20тестування%20програм/didkovska_m_v_testing_lecture_5.pdf (дата звернення: 28.10.2025).

28. Дистанційний моніторинг культурної спадщини України за допомогою Конфліктної обсерваторії. *Smithsonian Global | Office of Global Affairs*. URL: <https://global.si.edu/projects/диджиталізація> (дата звернення: 28.10.2025).

29. На Львівщині паспортизували понад 850 об'єктів культурної спадщини – Львівська обласна військова адміністрація, https://loda.gov.ua/news?news_departments=6,24&id=38087 (дата звернення: 28.10.2025).

30. Repekhovich S. Web mapping as a tool for preservation and promotion of historical and cultural heritage. *Geographical Education and Cartography*. 2025. No. 41. P. 35–46. URL: <https://doi.org/10.26565/2075-1893-2025-41-04> (date of access: 28.10.2025).

31. Балишев М., Андреев Т. Інтерактивні карти як форма презентації архівних джерел: проблеми та перспективи (досвід ЦДНТА України). *Архіви України*. 2024. Т. 1. С. 102–118.

32. Геоінформаційна система управління об'єктами культурної спадщини. *MagneticOne Municipal Technologies*. URL: <https://magneticonemt.com/m1gis-gis-upravlinnia-objektamy-kulturnoi-spadshyny/> (дата звернення: 28.10.2025).

33. Крамар Т. О. Дослідження світового досвіду запровадження технологій доповненої реальності для збереження культурної спадщини: кваліфікаційна робота за спеціальністю „122 – комп'ютерні науки“ / Т.М. О. Крамар. – Тернопіль : ТНТУ, 2023. – 81 с.

34. Інформаційна система інтерактивної ретро-карти міста. *DSpace Repository* :: Home. URL: <https://ena.lpnu.ua/items/b5480c43-aebe-43de-b5eb-3501ae71e620/full> (дата звернення: 28.10.2025).

35. Um AI-Tut – Додатки в Google Play, доступ отримано жовтня 28, 2025, <https://play.google.com/store/apps/details?id=ps.provision.umtoot&hl=uk>

36. МЕТОДИКИ ІНТЕГРАЦІЇ ІСТОРИЇ ПОБУТУ В ОСВІТНІЙ ПРОЦЕС. *Головна*. URL: <https://sno.udpu.edu.ua/index.php/naukovo-metodychna-robota/118-viii-mizhnarodna-internet-konferentsiya-suchasni-tehnolohiyi->

[rozvytku-profesiynoyi-maysternosti-maybutnikh-uchyteliv/905-metodiki-integratsiji-istoriji-pobutu-v-osvitnij-protses](#) (дата звернення: 28.10.2025).

37. «Картка виявлення об'єкта культурної спадщини» – це якісно новий механізм захисту культурної спадщини | Міністерства культури та стратегічних комунікацій, <https://mcsc.gov.ua/news/kartka-vyyavlennya-obyekta-kulturnoyi-spadshhyny-cze-yakisno-novyj-mehanizm-zahystu-kulturnoyi-spadshhyny/> (дата звернення: 28.10.2025).

38. Український культурний фонд. *Український культурний фонд*. URL: https://ucf.in.ua/m_programs/6777eb26e7e936047d7079a3/register?type=rating (дата звернення: 28.10.2025).

39. [Культурний сектор України в умовах війни: Виклики – Потреби – Заходи – Goethe-Institut, <https://www.goethe.de/resources/files/pdf347/the-ukrainian-cultural-sector-in-wartimes.pdf> (дата звернення: 28.10.2025).

40. ЮНЕСКО виділить 140 тисяч доларів на підтримку українських проєктів – PRAGMATIKA.MEDIA. *PRAGMATIKA.MEDIA*. URL: <https://pragmatika.media/news/iunesko-vidilyt-140-tysiach-dolariv-na-pidtrymku-ukrainskykh-proiektiv/> (дата звернення: 28.10.2025).

41. Utilizing 3D GIS for the sustainable management of UNESCO World Heritage Sites in Saudi Arabia / M. S. Ezz et al. *Frontiers in Built Environment*. 2025. Vol. 11. URL: <https://doi.org/10.3389/fbuil.2025.1550124> (дата звернення: 29.10.2025).

42. Social Sciences & Humanities Open Marketplace. *Social Sciences & Humanities Open Marketplace*. URL: <https://marketplace.sshopencloud.eu/workflow/W2DT4S> (дата звернення: 29.10.2025).

43. 3D пам'ятки: технологія створення цифрових версій об'єктів культури, <https://mcsc.gov.ua/news/3d-pamyatky-tehnologiya-stvorennya-cyfyrovyyh-versij-obyektiv-kultury/> (дата звернення: 29.10.2025).

44. How to Export 3D Models from Metashape for WebAR, GLB, USDZ, and Cesium|Agisoft Metashape. *Agisoft Metashape*.

URL: <https://www.agisoftmetashape.com/how-to-export-3d-models-from-metashape-for-webar-glb-usdz-and-cesium/> (дата звернення: 29.10.2025).

45. Configure pop-ups in a scene—ArcGIS Online Help | Documentation. *ArcGIS*. URL: <https://doc.arcgis.com/en/arcgis-online/create-maps/configure-pop-ups-in-scene.htm> (дата звернення: 29.10.2025).

46. Working with 3D mesh primitives | Sample Code | ArcGIS Maps SDK for JavaScript. *Esri Developer*. URL: <https://developers.arcgis.com/javascript/latest/sample-code/geometry-mesh-primitives/> (дата звернення: 29.10.2025).

47. Qgis2threejs – 3D map visualization and web export powered by three.js JavaScript library. *QGIS Plugins*. URL: <https://plugins.qgis.org/plugins/Qgis2threejs/#plugin-about> (дата звернення: 29.10.2025).

48. Cesium: The Platform for 3D Geospatial. *Cesium*. URL: <https://cesium.com/> (дата звернення: 29.10.2025).

49. *American Society of Overseas Research (ASOR)*. URL: https://www.asor.org/wp-content/uploads/2022/05/ASOR_Tutorial_04-12_Photogrammetry-Agisoft-Export-Model.pdf (дата звернення: 29.10.2025).

50. Як виправити помилку "Непідтримуване розширення glTF" – Manufacturer Center Довідка. *Google Help*. URL: <https://support.google.com/manufacturers/answer/14290959?hl=uk> (дата звернення: 29.10.2025).

51. LAS to GLTF – RGB colors missing | Community. *FME by Safe Software Community* | Community. URL: <https://community.safe.com/data-7/las-to-gltf-rgb-colors-missing-16474> (дата звернення: 29.10.2025).

52. The Khronos Group. glTF: Transforming 3D Asset Delivery for Real-Time Graphics – SIGGRAPH 2023 BOF Session, 2023. *YouTube*. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=Vipz434-0N8> (дата звернення: 29.10.2025).

53. Використання наземних контрольних точок для зйомки дроном – *portalgis.portalgis*. URL: <https://portalgis.pro/bpla/vykorystannya-nazemnyh-kontrolnyh-tochok-dlya-zjomky-dronom/> (дата звернення: 29.10.2025).
54. 3D models–3D Workflows | Documentation. *ArcGIS*. URL: <https://doc.arcgis.com/en/3d/workflows/content/3d-models.htm> (дата звернення: 29.10.2025).
55. Add a multipatch feature from a model gallery–ArcGIS Pro | Documentation. URL: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/help/editing/create-multipatch-features-from-3d-models.htm> (дата звернення: 29.10.2025).
56. Bring Your GIS to Life with Google Photorealistic 3D Basemap. *ArcGIS Blog*. URL: <https://www.esri.com/arcgis-blog/products/arcgis-pro/announcements/bring-your-gis-to-life-with-google-photorealistic-3d-basemap> (дата звернення: 29.10.2025).
57. Multipatches–ArcMap | Documentation. URL: <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/extensions/3d-analyst/multipatches.htm> (дата звернення: 29.10.2025).
58. Edit 3D objects by directly accessing model files–ArcGIS Pro | Documentation. URL: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/help/editing/edit-3d-objects-by-directly-accessing-model-files.htm> (дата звернення: 29.10.2025).
59. 3D object scene layer symbology–ArcGIS Pro | Documentation. URL: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/help/mapping/layer-properties/3d-object-scene-layer-symbology.htm> (дата звернення: 29.10.2025).
60. 3D effects–ArcGIS Pro | Documentation. URL: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/help/mapping/layer-properties/3d-effects.htm> (дата звернення: 29.10.2025).
61. Configure pop-ups (Map Viewer)–ArcGIS Online Help | Documentation. *ArcGIS*. URL: <https://doc.arcgis.com/en/arcgis-online/create-maps/configure-pop-ups-mv.htm> (дата звернення: 29.10.2025).
62. Top 5 GIS Tools for Next-Level 3D Visualization in 2025. *D5 Render | Real-Time 3D Rendering Software with AI*.

URL: <https://www.d5render.com/posts/top-5-gis-tools-3d-visualization> (дата звернення: 29.10.2025).