



КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БУДІВНИЦТВА ТА АРХІТЕКТУРИ

Факультет геоінформаційних систем і управління територіями

Кафедра геоінформатики і фотограмметрії

Кваліфікаційна робота
на здобуття освітнього ступеня магістра
на тему:

Методика синтезу даних для високоточного моделювання будівель і споруд

Виконала студент групи ГСТ-61м
193 «Геодезія та землеустрій»
Геоінформаційні системи і технології
Кузнєцова А.М.

Керівник: Горковчук Ю.В.,
доцент, к.т.н.

Київ - 2021

Мета та завдання дипломної роботи

Метою магістерської роботи є розроблення методики синтезу даних для високоточного моделювання будівель і споруд та її практична апробація.

Об'єктом дослідження є високоточне моделювання будівель і споруд.

Предмет дослідження – синтез даних лазерного сканування та фотограмметричного знімання.

Основні завдання, вирішені в роботі:

Аналіз нормативно-методичного забезпечення предметної сфери моделювання будівель і споруд.

Класифікація 3D-моделей та огляд методів інтеграції 2D та 3D даних.

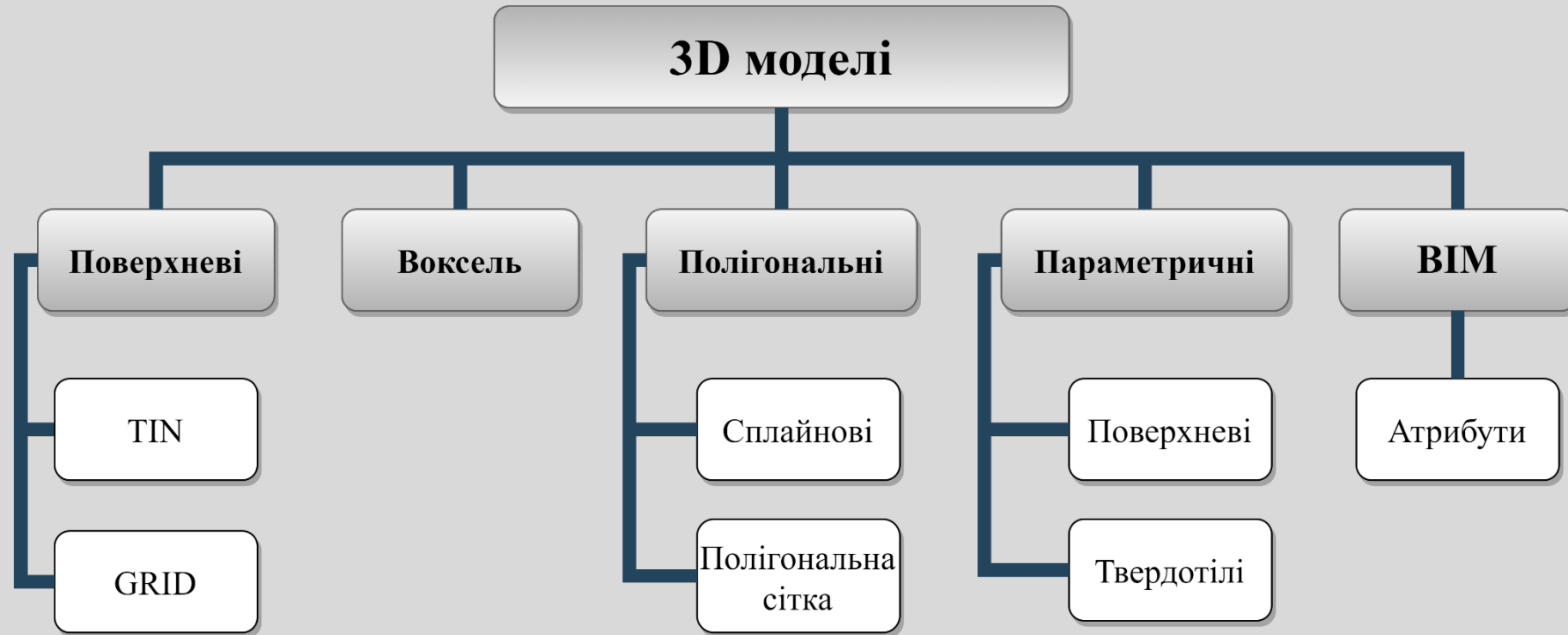
Розроблення функціональної моделі синтезу даних лазерного сканування та фотограмметричного знімання.

Розроблення концептуальної моделі бази даних моделювання будівель і споруд.

Дослідна реалізація методики синтезу даних лазерного сканування та фотограмметричного знімання для тривимірного моделювання історичної споруди Fort Austerstein у німецькому місті Кобленц.

Оцінка точності запропонованої методики синтезу даних на основі порівняльного аналізу даних.

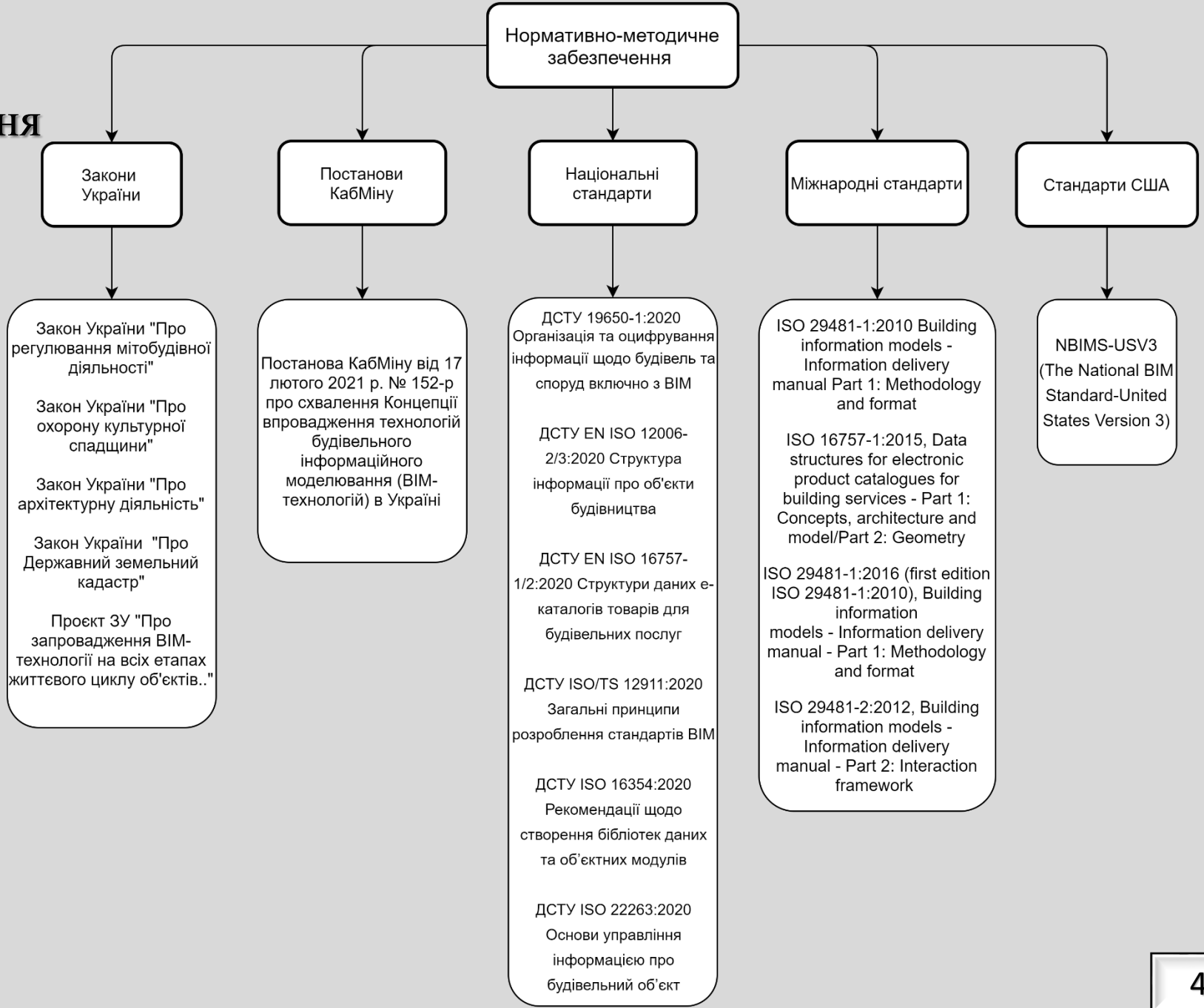
Класифікація 3D-моделей



3D-моделювання – процес розробки математичного подання будь-якої тривимірної поверхні об'єкта за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення. Результатом моделювання є 3D-модель.

BIM-технологія – цифрове подання фізичних і функціональних характеристик об'єкта, що створює інформаційний ресурс об'єкта для спільного використання. Обов'язковою складовою технології є єдиний інформаційний простір (база даних), що зберігає інформацію про технічні, правові, майнові, експлуатаційні, енергетичні, екологічні, комерційні та інші характеристики об'єкта.

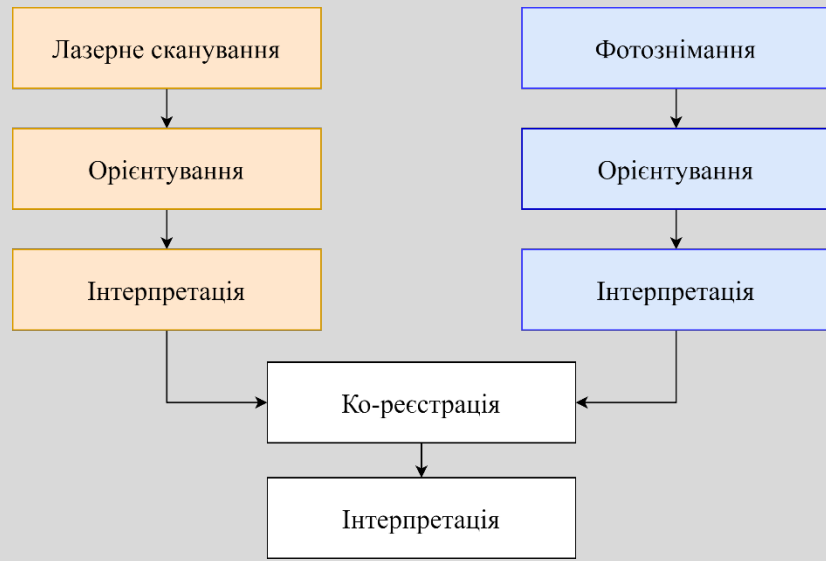
Аналіз нормативно-методичного забезпечення предметної сфери моделювання будівель і споруд



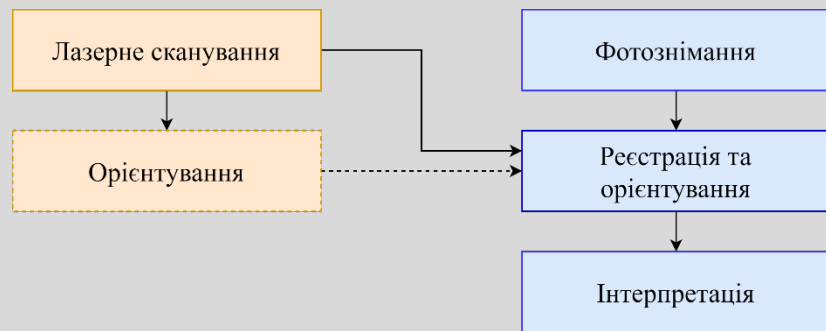
Класифікація первинних даних для високоточного 3D-моделювання

Первинні дані	Джерело	Формат подання	Точність	Файловий формат	Використання у 3D
Растрові зображення	Фотограмметрія близьких відстаней	Растрові зображення	Обмежується розміром чарунки	.BMP, .TIFF, .JPG, .GIF, .PNG, .ARW	Геометрія, карти глибини, текстуризація
Хмари точок	LiDAR, наземне лазерне сканування	X, Y, Z, RGB, інтенсивність	Залежить від сканера ~5мм	.LAS, .OBJ, .E57, .PLY, .PTS, .RCS	Геометрія, деформації, конструктивні особливості
Координати	ГНСС, наземне топографічне знімання	X, Y, Z	Залежить від пристрою ~1-3см (DGPS)	.TXT, .CSV, .GPX	Геометрія
Дані ДЗЗ	Дистанційне зондування, аерофотозйомка, дані БПЛА	Растрові зображення	Залежить від типу сенсора\камери ~5-10м	.TIFF, .GeoTIFF, .DNG	Геометрія, карти глибини, текстуризація
ЦМР, ЦММ	LiDAR, аерофотозйомка, наземне знімання	TIN, GRID	Вхідні дані ~20-30см	.CSV, .TIF, .FLT, .DEM, ESRI_grid	Геометрія
Топографічні плани й карти	Аерофотозйомка, топографічне знімання	Цифровий топоплан\карта	Залежить від масштабу 0,1 мм у масштабі плану 1м для 1:10 000	.TIFF, .GeoTIFF, .PDF, .SHP	Геометрія
Інженерні креслення	Паперові архівні дані, дані галузевих кадастрів	Графічний конструкторський документ	Залежить від масштабу ~2-3см	.DWG, .DXF, .DTS, .RVT, .PLN, .PDF	Геометрія
Існуючі 3D-моделі	Проектні дані, дані локальних інформаційних систем та галузевих кадастрів	Полігональна/твердотільна модель	Залежить від рівня деталізації ~2-3см	.3DS, .DXF, .DWG, .OBJ, .FBX, .u3d	Геометрія

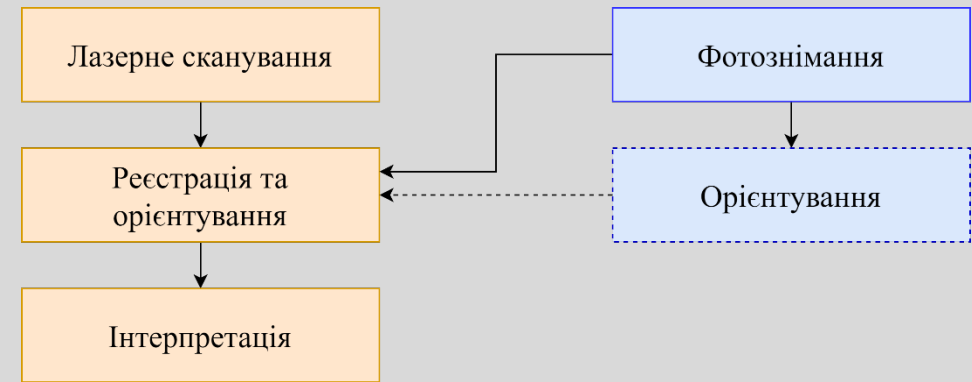
Рівні інтегрування даних наземної фотограмметрії на лазерного сканування



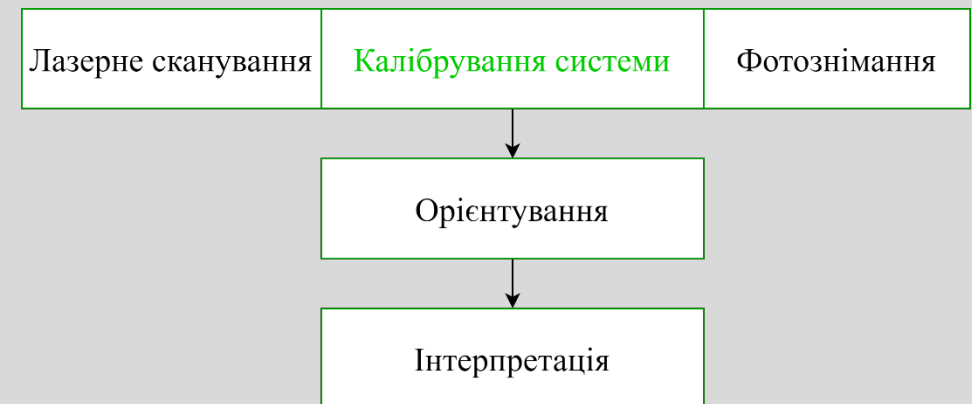
1. Об'єктний рівень інтегрування



2. Фотограмметрія + лазерне сканування



3. Лазерне сканування + фотограмметрія

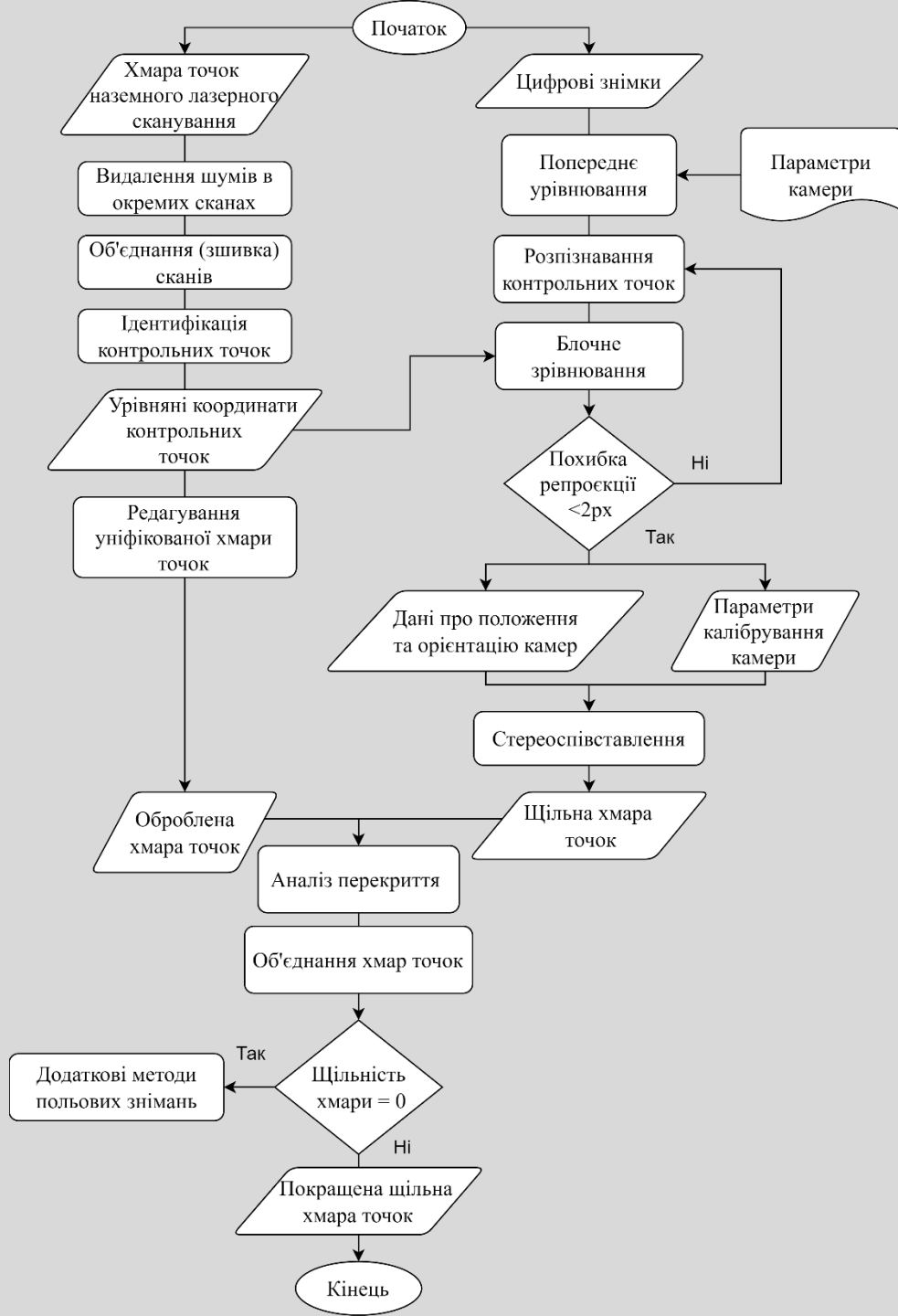


4. Глибоко інтегрована схема лазерного сканування і фотограмметрії

Функціональна модель синтезу даних для моделювання будівель і споруд



Блок схема синтезу даних для отримання високоточної хмари точок



Хмара точок є повноцінною цифровою копією об'єкта і відображає всі його видимі елементи.

Важливо одержати **якісну високоточну хмару точок** – щільну, прив'язану, без зайвих шумів і без прогалин, оскільки чим точнішою буде хмара точок, тим точнішим буде результат 3D-моделювання.

Взаємодія вхідних даних на 2 етапах:

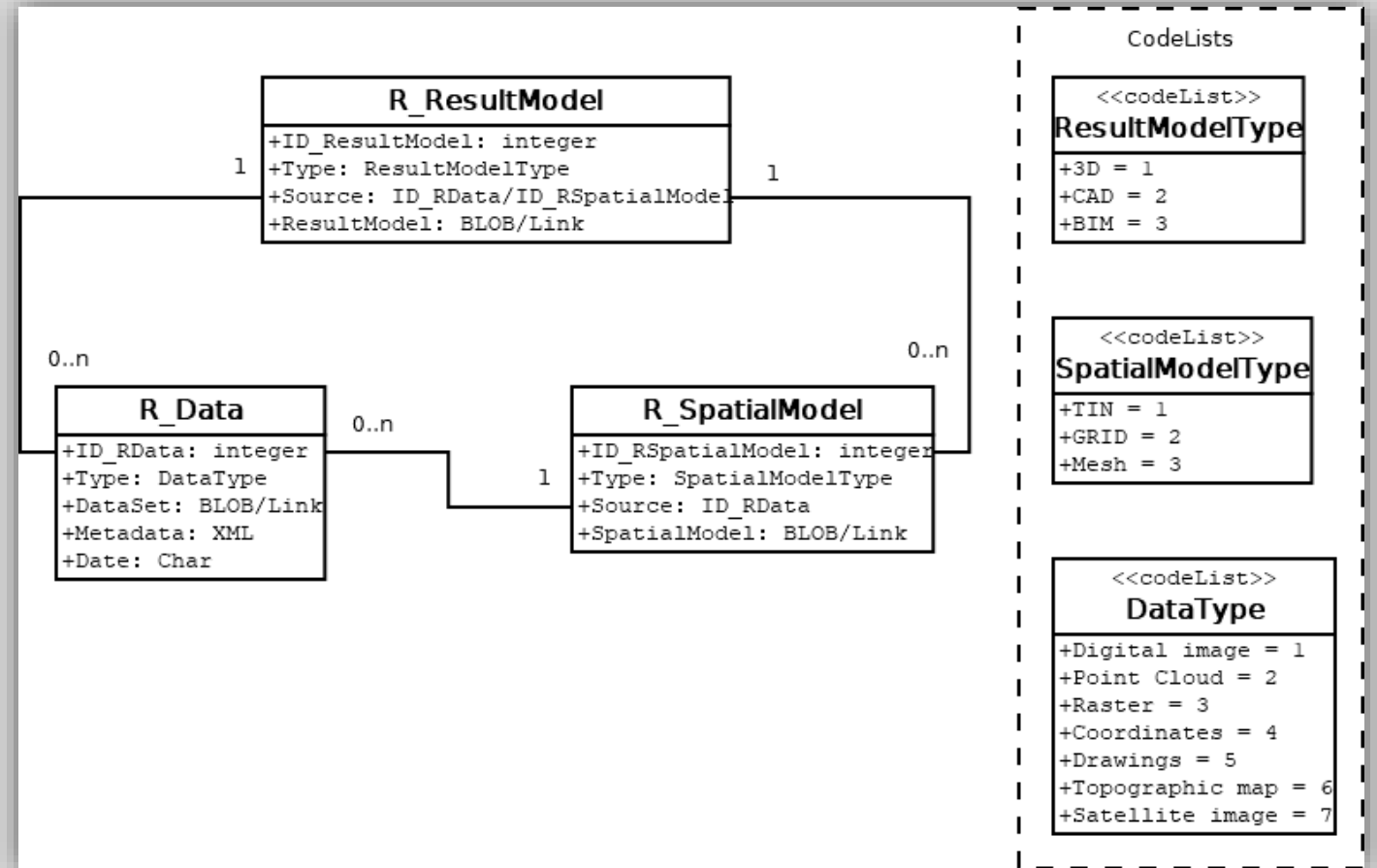
- на етапі ідентифікації контрольних точок для узгодження систем координат;
- на етапі об'єднання щільних хмар точок, коли хмари вже фактично зливаються в єдиний результат – покращену щільну хмару точок.

Концептуальна модель бази даних моделювання будівель і споруд

База даних складається з таких основних класів об'єктів:

- реєстр вхідних даних
 - реєстр просторових моделей
 - реєстр результатуючих моделей
- А також відповідні їм класифікатори.

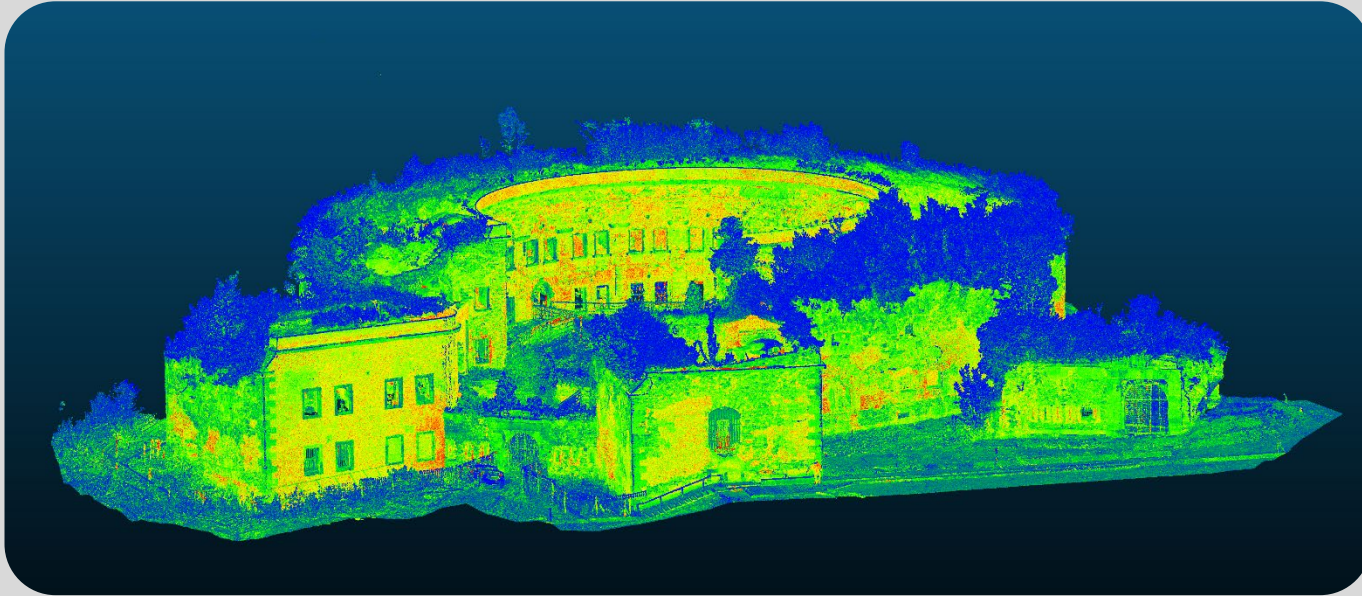
Запропонована концептуальна модель бази даних забезпечує структуроване збереження значних масивів геопросторових даних про об'єкт моделювання.



Дослідна реалізація методики синтезу даних

Обробка даних лазерного сканування

Аналіз вихідних даних для тривимірного моделювання історичної споруди Fort Asterstein у німецькому місті Кобленц



Контрольні точки, що використовуються для приведення вхідних даних у єдину систему координат (характерні точки місцевості)

- 12 точок у внутрішній частині об'єкту моделювання;
- 8 точок із зовнішньої сторони споруди.

Отримана уніфікована хмара точок з файловим розширенням .pts – результат первинного етапу об'єднання окремих сканів лазерного сканування. Кількість точок – 824 мільйона, щільність – 5 мм.

Лазерне сканування було виконано високоточним лазерним сканером Leica «ScanStation P40».

Для оптимізації використання хмари точок та досягнення однакової щільності точок виконано прорідження та видалення шумів і нерелевантних даних в CloudCompare, після чого кількість точок зменшилася до 572 мільйонів.

Обробка даних фотограмметричного знімання

Фотограмметричне знімання:

- цифрова камера Sony Alpha SLT-A77V
- об'єктив із фокусною віддаллю 16 мм
- 469 цифрових знімків (183 внутрішньої та 286 фасадної частини)
- формат ARW із розмірами зображення 6000x4000 пікселів

Автоматична оцінка знімків, характеризує відносну якість знімків

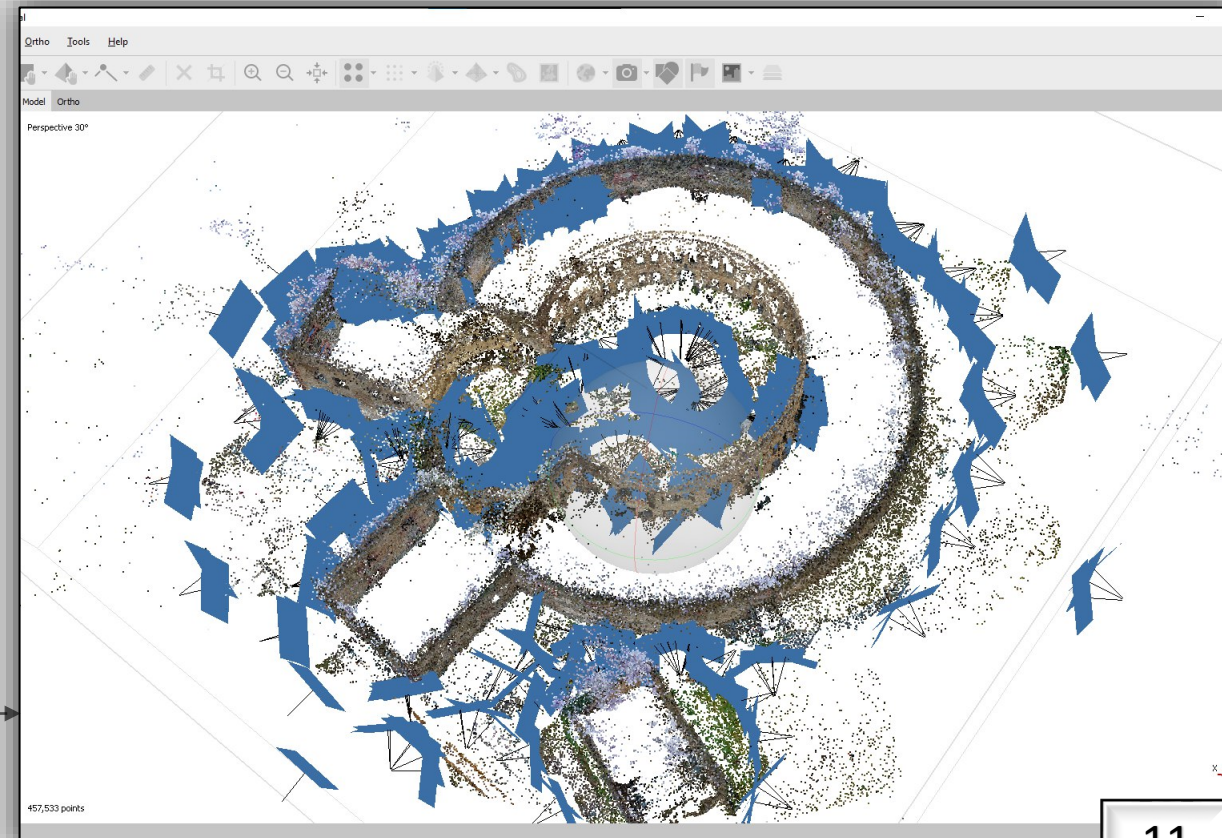
Фасадна частина	Якість/ Кількість знімків			
	0,57-0,7	0,7-0,8	0,8-0,91	
Зовнішня	0,57-0,7	0,7-0,8	0,8-0,91	
	23	77	186	
Внутрішня	0,49	0,52-0,6	0,6-0,7	0,7-0,77
	3	23	112	45

- дані про положення та орієнтацію камери
- параметри її калібрування
- розріджена хмара точок

Попередня обробка:

- балансування кольорів (Adobe Photoshop Lightroom)
- конвертації у формат .JPEG (Sony Imaging Edge)

Результат виконання етапу блочного зрівнювання



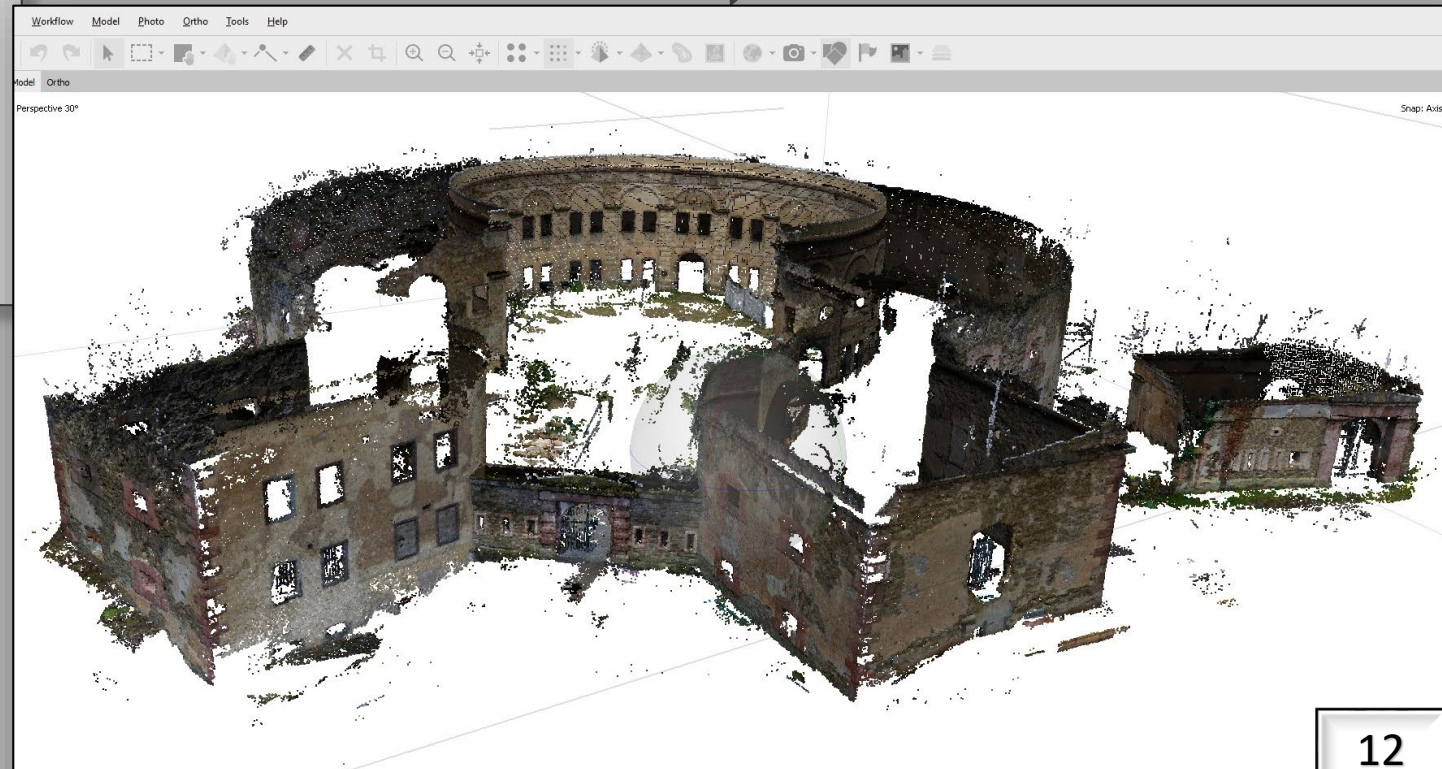
Обробка даних фотограмметричного знімання

Щільна хмара точок (на основі алгоритму стереоспівставлення)

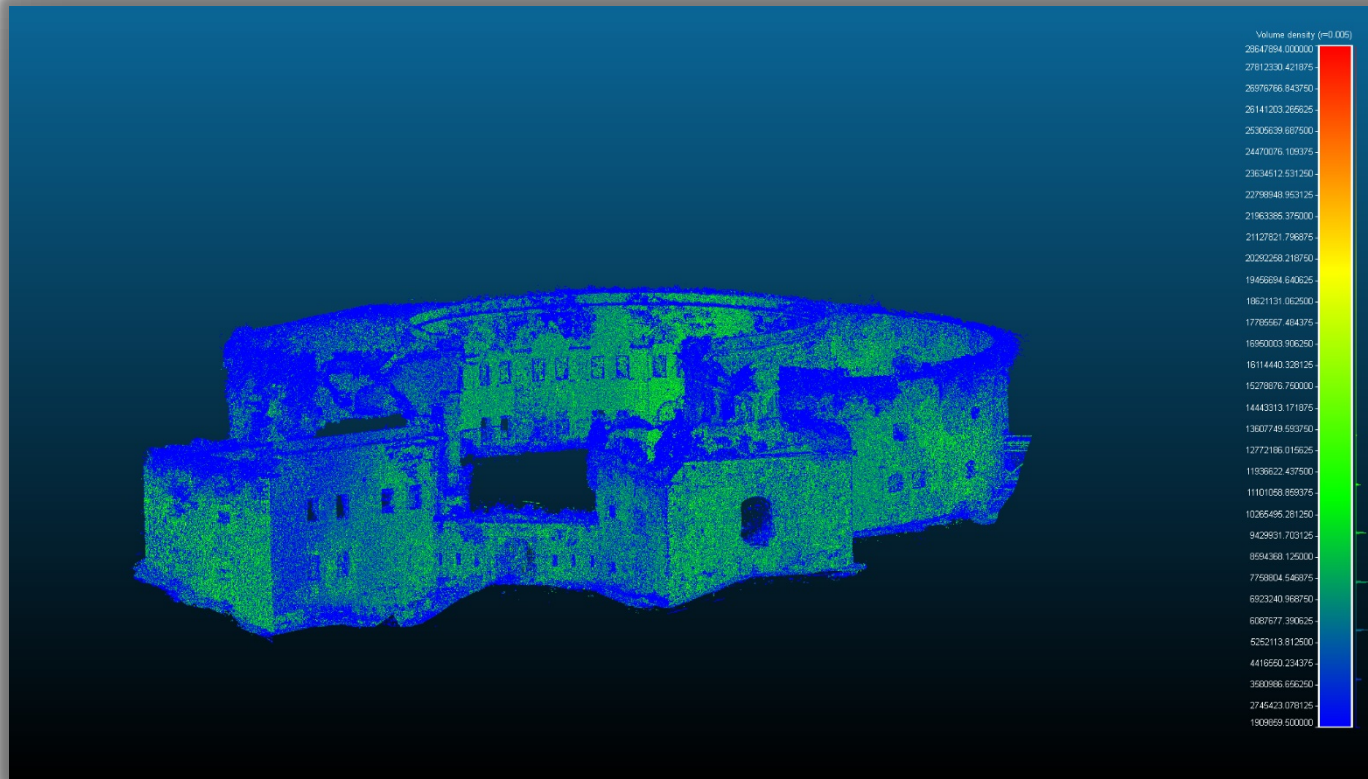
- Якість – висока
- Фільтрація карт глибин – м'яка
- Розрахування кольорів точок ✓
- Розрахування достовірності точок ✓

Markers	X (m)	Y (m)	Z (m)	Accuracy (m)	Error (m)	Projections	Error (pix)
✓ 1	1493.229300	9008.097300	174.338500	0.005000	0.004402	16	0.824
✓ 2	1495.493100	9010.362500	180.644400	0.005000	0.020456	11	1.971
✓ 3	1492.140300	8994.667900	173.749000	0.005000	0.006644	16	0.985
✓ 4	1492.118900	8994.614000	177.527500	0.005000	0.019958	25	1.822
✓ 5	1502.810000	8986.257700	173.808000	0.005000	0.004563	27	1.030
✓ 6	1502.777600	8986.240800	177.550900	0.005000	0.004483	25	0.832
✓ 7	1518.599200	8994.955200	173.762000	0.005000	0.003775	16	0.974
✓ 8	1518.609900	8994.973200	177.506600	0.005000	0.014597	15	1.832
✓ 9	1519.408800	9003.160500	173.783900	0.005000	0.006962	15	1.622
✓ 10	1519.409300	9003.179600	177.516400	0.005000	0.004438	15	1.168
✓ 11	1512.106400	9012.995700	173.294800	0.005000	0.009630	14	1.460
✓ 12	1510.358600	9013.458200	180.599100	0.005000	0.008565	9	1.883
✓ 21	1519.312000	9022.816000	172.763000	0.005000	0.031805	8	1.065
✓ 22	1531.597000	9003.222000	176.212000	0.005000	0.021844	20	1.450
✓ 23	1516.856000	8976.629000	175.327000	0.005000	0.013502	14	1.894
✓ 24	1510.029000	8974.381000	175.919000	0.005000	0.008084	13	0.965
✓ 25	1488.284000	8980.136000	175.761000	0.005000	0.010868	7	0.932
✓ 26	1480.636000	8990.855000	175.185000	0.005000	0.017022	11	1.017
✓ 27	1478.986000	8998.275000	171.273000	0.005000	0.004585	10	1.620
✓ 28	1483.019000	9014.445000	175.029000	0.005000	0.032127	17	1.223
✓ point ...	0.000000	0.000000	0.000000	0.005000		0	0.000
Total Error							
Control points				0.015133			1.367
Check points							

Прив'язка поточних результатів фотограмметрії до координатної системи лазерного сканера на основі координат опорних точок

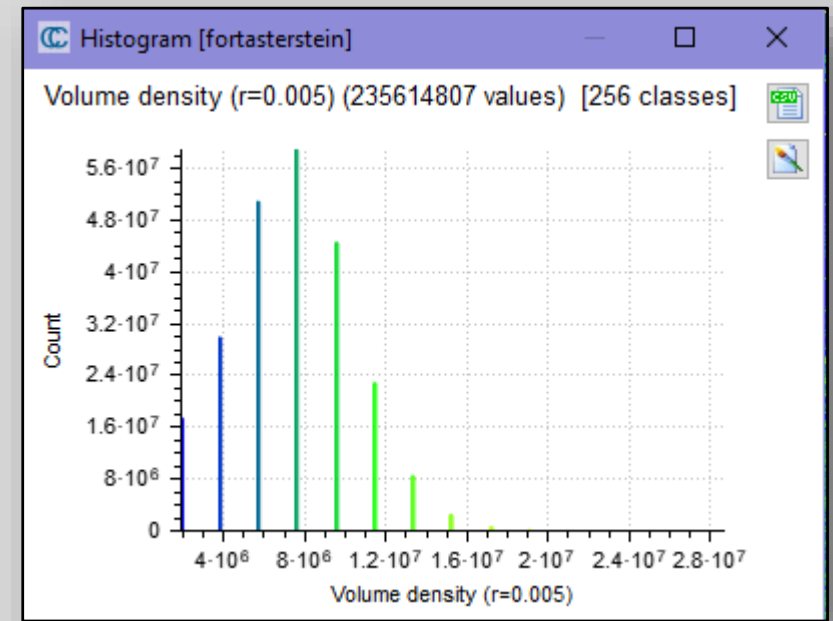


Аналіз перекриття



У CloudCompare щільність точок оцінюється шляхом підрахунку для кожної точки кількості сусідів всередині сфери радіуса r .

$$D = \frac{N}{\frac{4}{3}\pi r^3}$$

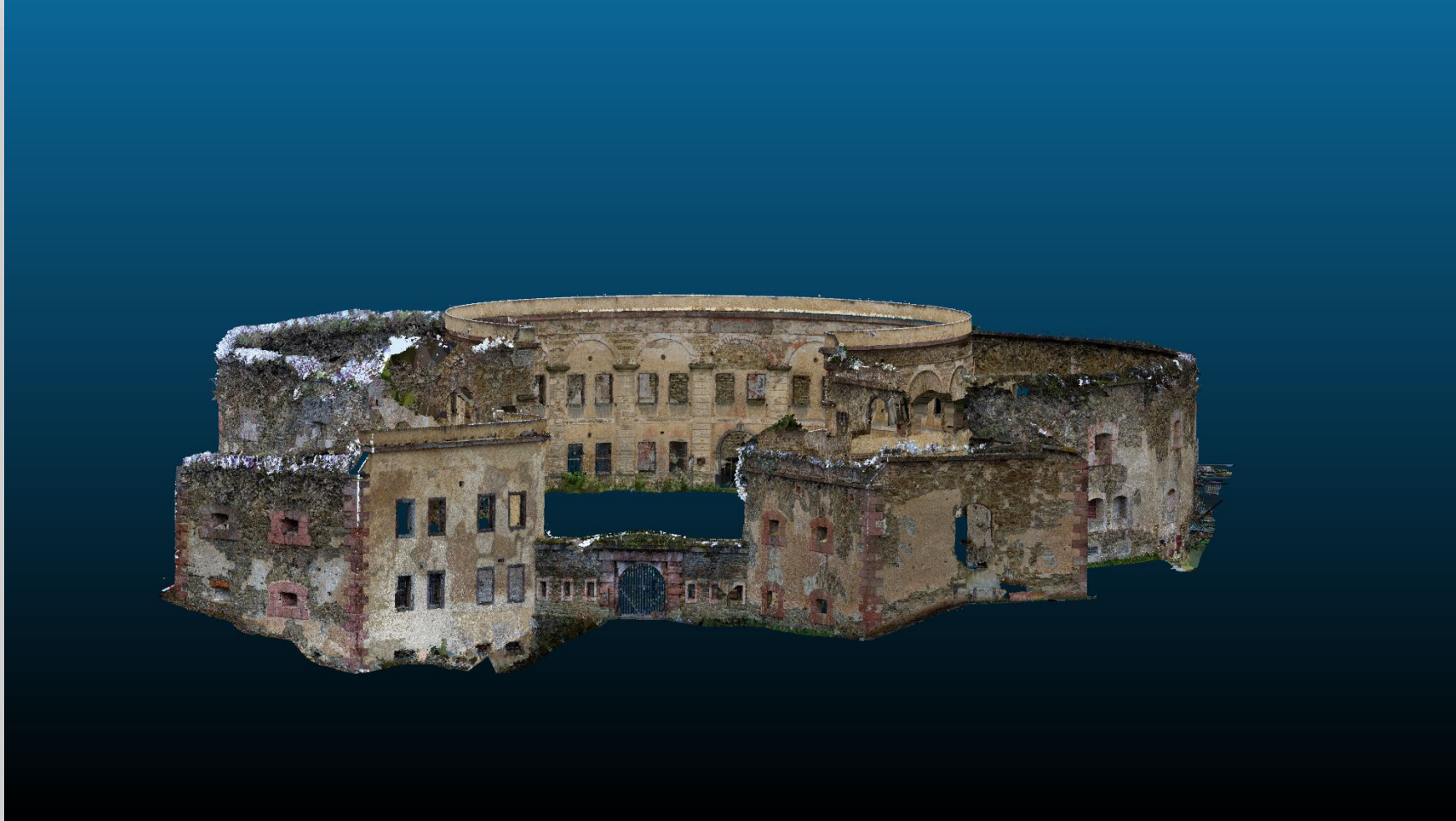


Враховуючи сферу радіусом 5 мм, об'ємна щільність між двома хмарами точок:

- ❖ варіюється від 0 до $1,7 * 10^7$ точок/м³
- ❖ більше 230 млн точок мають об'ємну щільність 115 млн точок/м³.

Зона перекриття між двома хмарами складає 80%, що свідчить про те, що інші 20% поверхні об'єкта не мали покриття на одному з джерел вихідних даних.

Об'єднана щільна хмара точок у реальних кольорах (230 млн точок)



Високоточна полігональна 3D-модель фасадів форту Астерштейн



Полігональна 3D-модель

- висока максимальна кількість полігонів
- довільний тип поверхні

Текстуризація:

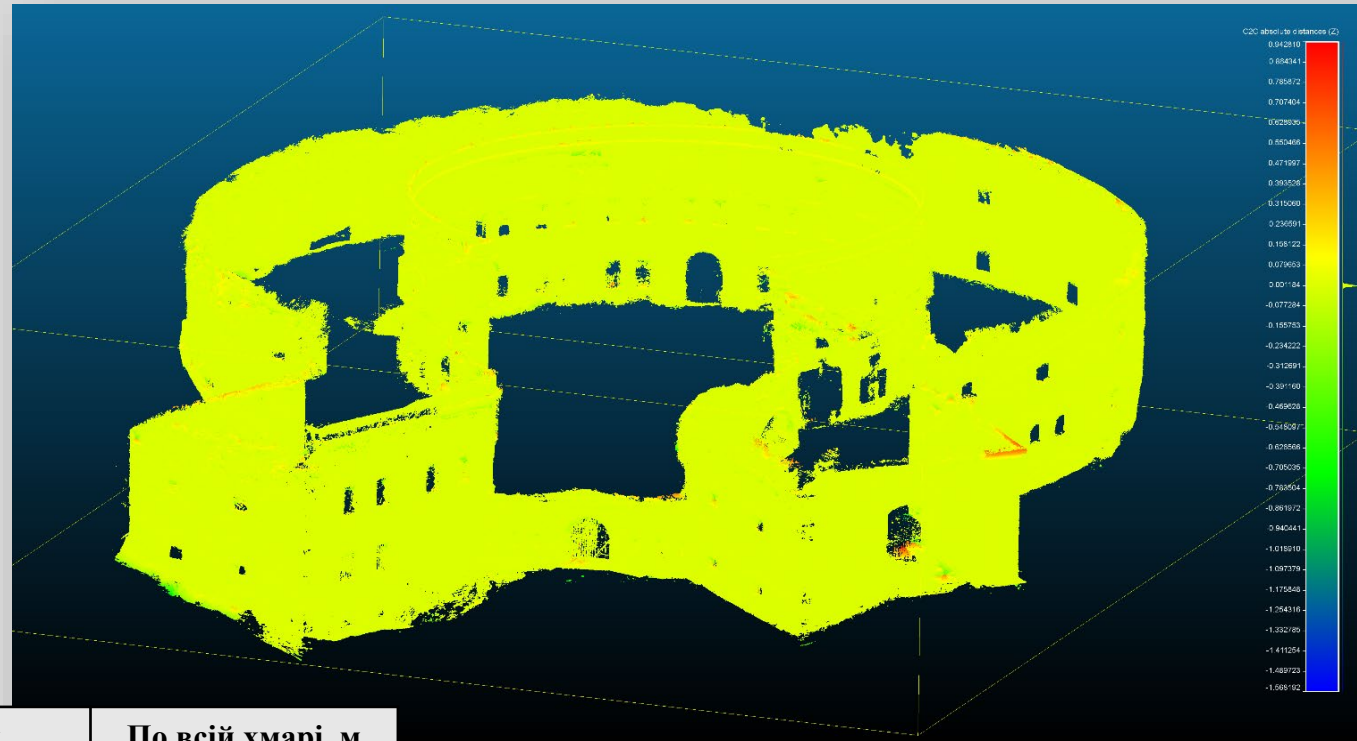
- ❖ загальний режим параметризації
- ❖ поетапний режим змішування «мозаїка»
- ❖ розмір та кількість текстур – 4096x3



Оцінка точності (обчислення відхилень між хмарами точок)

Завдяки поєднанню первинних хмар точок, отримана покращена хмара точок має реальні кольори та не має тих прогалів, що були у первинних хмарах.

І саме тому можна припустити, що покращена щільна хмара точок матиме більшу точність, достовірність та якість і з її використанням можна побудувати високоточну 3D-модель.



Хмари точок	Вісь X, м	Вісь Y, м	Вісь Z, м	По всій хмарі, м
Покращена хмара точок vs хмара точок лазерного сканування	Стандартне відхилення			
	0,001251	0,000721	0,001340	0,001968
	Середнє значення			
	-0,000004	-0,000004	0,000002	0,000078
Покращена хмара точок vs хмара точок фотограмметрії	Стандартне відхилення			
	0,031003	0,028219	0,019804	0,042555
	Середнє значення			
	0,002662	-0,000753	-0,00124	0,018611

Алгоритм методу найближчого сусіда

Для кожної точки хмари, що порівнюється, ПЗ в автоматичному режимі шукає найближчу точку в еталонній хмарі та обчислює евклідову відстань між ними

Висновки

Високоточне тривимірне моделювання архітектурних будівель і споруд вимагає поєднання різнорідних за структурою, типами, джерелами даних.

Теорія синтезу або злиття даних є основою для вирішення цієї проблеми.

Комбінування даних лазерного сканування та фотограмметричного знімання має низку переваг, оскільки **лазерне сканування** дає можливість **визначити геометрію**, а також змоделювати окремі архітектурні елементи з **точністю в декілька міліметрів**, а цифрові зображення забезпечують текстуризацію об'єкта.

Досліджено методику синтезу даних для високоточного моделювання будівель і споруд та **запропоновано функціональну модель інтегрування** даних результатів наземного лазерного сканування та фотограмметричного знімання, що включає такі загальні етапи:

- *первинна обробка вхідних даних*
- *об'єднання даних*
- *моделювання*

У результаті інтеграції даних була створена покращена щільна хмара точок у реальних кольорах, яка забезпечила подальше моделювання об'єкта з **точністю до 1 мм**.

Подальші дослідження щодо синтезу даних мають бути направлені на вдосконалення етапів оброблення значних масивів даних з врахуванням:

- широкого кола первинних даних
- можливих ризиків інтегрування даних

Дякую за увагу, презентацію закінчено!

Публікації автора:

- Кузнецова А. Геоінформаційний аналіз місць розміщення сміттєзбиральних контейнерів на території міських кварталів (на прикладі м. Києва). *Актуальні питання використання та охорони земельних ресурсів*: матеріали Всеукр. студентської наук.-практ. конф. Дубляни, 8 квіт. 2021 р. Львів: ЛНАУ, 2021. С. 19 – 21.
- Kuznietsova, A., & Gorkovchuk, J. (2021). GIS modeling of waste containers' placement in urban areas. *Geodesy and Cartography*, 47(2), 89-95.
<https://doi.org/10.3846/gac.2021.12481>

Кузнецова Анна Михайлівна
email: annakuznietsova@gmail.com