

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БУДІВНИЦТВА І  
АРХІТЕКТУРИ**

Факультет геоінформаційних систем та управління територіями

(повне найменування інституту, назва факультету)

Кафедра геоінформатики і фотограмметрії

(повна назва кафедри)

**Пояснювальна записка**

до дипломного проекту (роботи)

бакалавра

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему «ГІС моніторинг вулично-дорожньої мережі за даними мобільного  
лазерного сканування»

Виконав: студент 4 курсу, групи ГІСТ - 41

напряму підготовки (спеціальності)

193 «Геодезія та землеустрій»

(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

Шолохова М.С.

(прізвище та ініціали студента)

Керівник: Горковчук Ю.В.

(прізвище та ініціали)

Рецензент: Лазоренко Н.Ю.

(прізвище та ініціали)

Київ – 2022р.

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БУДІВНИЦТВА І  
АРХІТЕКТУРИ**

Інститут, факультет Геоінформаційних систем та управління територіями  
Кафедра Геоінформатики і фотограмметрії

Освітньо-кваліфікаційний рівень бакалавр

Напрямок підготовки 193 «Геодезія та землеустрій»

(шифр і назва)

Спеціальність 7.08010105 «Геоінформаційні системи і технології»

(шифр і назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ проф. Карпінський Ю.О.

“27” квітня 2022 року

**З А В Д А Н Н Я  
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТУ**

Шолохова Мар'яна Сергіївна

(прізвище, ім'я, по батькові студента)

1. Тема проекту (роботи): ГІС моніторинг вулично-дорожньої мережі за даними мобільного лазерного сканування

керівник проекту (роботи): доц., к.т.н. Горковчук Юлія Вікторівна

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “27” квітня 2022 року №287/2

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 15.06.2022

3. Вихідні дані до проекту (роботи) дані мобільного лазерного сканування

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

**ВСТУП**

**РОЗДІЛ 1. Інституційні засади моніторингу вулично-дорожньої мережі**

1.1. Моніторинг вулично-дорожньої мережі

1.2. Аналіз нормативно-методичного забезпечення моніторингу вулично – дорожньої мережі

1.3. Моніторинг вулично-дорожньої мережі: досвід ведення та впровадження

**РОЗДІЛ 2. Методичні засади ГІС моніторингу вулично-дорожньої мережі**

2.1. Методика ГІС моніторингу вулично-дорожньої мережі

2.2. Технологія реалізації геоінформаційного моніторингу вулично- дорожньої мережі за даними мобільного лазерного сканування

### РОЗДІЛ 3. Практична реалізація геоінформаційного моніторингу вулично-дорожньої мережі за даними мобільного лазерного сканування

#### 3.1. Опис дослідної території та наявних вхідних даних

#### 3.2. Моніторинг

##### 3.2.1. Первинна обробка даних мобільного лазерного сканування

##### 3.2.2. Векторизація та формування топографічного плану М1:500

#### 3.3. Оцінка точності топографічного плану М1:500

#### Висновки

#### Список використаних джерел

#### Додатки

#### 5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Топографічний план вулиці Вознесенський узвіз М1:500

#### 6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

#### 7. Дата видачі завдання 21.03.2022

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
	Вступ	17.04.2022	
1.1	Моніторинг вулично-дорожньої мережі	17.04.2022	
1.2	Аналіз нормативно-методичного забезпечення моніторингу вулично – дорожньої мережі	17.04.2022	
1.3	Моніторинг ВДМ: досвід ведення та впровадження	17.04.2022	
2.1	Методичні засади ГІС моніторингу вулично-дорожньої мережі	30.05.2022	
2.2	Технологія реалізації геоінформаційного моніторингу вулично-дорожньої мережі за	30.05.2022	

	даними мобільного лазерного сканування		
3.1	Опис дослідної території та наявних вхідних даних	30.05.2022	
3.2.1	Первинна обробка даних мобільного лазерного сканування	08.06.2022	
3.2.2	Векторизація та формування топографічного плану М1:500	08.06.2022	
3.3	Оцінка точності топографічного плану М1:500	08.06.2022	
4	Оформлення пояснювальної записки	11.06.2022	
5	Подача проекту на попередній захист та рецензування	15.06.2022	

**Студент**

\_\_\_\_\_ Шолохова М.С.  
( підпис ) (прізвище та ініціали)

**Керівник проекту (роботи)**

\_\_\_\_\_ Горковчук Ю.В.  
( підпис ) (прізвище та ініціали)

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1. ІНСТИТУЦІЙНІ ЗАСАДИ МОНІТОРИНГУ ВУЛИЧНО-ДОРОЖНЬОЇ МЕРЕЖІ.....	7
1.1. Моніторинг вулично-дорожньої мережі: визначення вулично-дорожньої мережі та моніторингу, принципи ведення, класифікація .....	8
1.2. Аналіз нормативно-методичного забезпечення моніторингу вулично – дорожньої мережі .....	14
1.3. Моніторинг вулично-дорожньої мережі: досвід ведення та впровадження .....	19
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ ГІС МОНІТОРИНГУ ВУЛИЧНО-ДОРОЖНЬОЇ МЕРЕЖІ.....	33
2.1. Методика ГІС моніторингу вулично-дорожньої мережі.....	34
2.2. Технологія реалізації геоінформаційного моніторингу вулично-дорожньої мережі за даними мобільного лазерного сканування.....	41
РОЗДІЛ 3. ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ГЕОІНФОРМАЦІЙНОГО МОНІТОРИНГУ ВУЛИЧНО-ДОРОЖНЬОЇ МЕРЕЖІ ЗА ДАНИМИ МОБІЛЬНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНУВАННЯ.....	56
3.1. Опис дослідної території та наявних вхідних даних .....	57
3.2. Моніторинг .....	58
3.2.1. Первинна обробка даних мобільного лазерного сканування .....	58
3.2.2. Векторизація та формування топографічного плану М1:500 .....	64
3.3. Оцінка точності топографічного плану М1:500 .....	73
ВИСНОВКИ .....	77
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	79
ДОДАТКИ .....	88

## ВСТУП

Моніторинг вулично-дорожньої мережі відіграє важливу роль у покращенні життя кожної людини. Завдання моніторингу – зменшити кількість дорожньо-транспортних пригод, уникнути заторів, забезпечити даними для ефективного управління та планування містом.

Мобільне лазерне сканування зазнало стрімкого розвитку в Україні у 2000 роках. Ця зйомка проводиться з автомобіля і часто використовується для виконання вимірів лінійних об'єктів, таких як автомобільні дороги. Мобільне лазерне сканування, на відміну від інших методів зйомки доріг, які передбачають зупинки або обмеження руху, виконується навіть на дорогах з інтенсивним рухом без його перешкодження. Актуальність використання саме цього методу зйомки полягає в тому, що це є найбезпечнішим, економічно вигідним, швидким та точним методом. Результатом такої зйомки є набір точок з визначеними координатами, реальним кольором та інтенсивністю відображення. Хмара цих точок дуже точно та докладно відображають реальну ситуацію місцевості, зйомку якої було проведено, так як складається з тисяч точок з міліметровою відстанню між ними.

Метою роботи є проведення моніторингу вулиці Вознесенський узвіз за даними мобільного лазерного сканування, результатом якого є топографічний план М1:500 та оцінка його точності. Об'єктом дослідження є – моніторинг, предмет дослідження – стан вулично-дорожньої мережі.

Вихідними даними для роботи є дані мобільного лазерного сканування, а саме скани вулиці Вознесенський узвіз та панорамні фотографії.

РОЗДІЛ 1. ІНСТИТУЦІЙНІ ЗАСАДИ МОНІТОРИНГУ ВУЛИЧНО-  
ДОРОЖНЬОЇ МЕРЕЖІ

## 1.1. Моніторинг вулично-дорожньої мережі: визначення вулично-дорожньої мережі та моніторингу, принципи ведення, класифікація

Згідно зі статтею 1 закону [1] : **Вулично-дорожня мережа** – призначена для руху транспортних засобів і пішоходів мережа вулиць, доріг, внутрішньоквартальні та інші проїзди, тротуари, пішохідні та велосипедні доріжки, набережні, майдани, площі, а також автомобільні стоянки та майданчики для паркування транспортних засобів з інженерними та допоміжними спорудами, технічними засобами організації дорожнього руху;

Згідно з розділом 3 документу [2]: **Вулиця населених пунктів** - смуга міської або сільської території, обмежена геодезично фіксованими лініями, яка призначена для руху транспортних засобів та/або пішоходів, з усіма розташованими в її межах спорудами та інженерними мережами – складовими вулиці. **Дороги населених пунктів** - ділянки вуличної мережі з рухом переважно транзитного або вантажного автомобільного транспорту, геодезично зафіксовані червоними лініями та переважно є виходами на автомобільні дороги загального користування.

Згідно зі статтею 1 закону [1] та розділом 3 документу [2] елементи вулично – дорожньої мережі представлені на рис. 1.1.

Згідно з монографією [3]: Геометрична мережа (ГМ) – це визначений набір класів векторних об'єктів, які утворюють частину нерозривної мережі, що складається із граничних елементів, переходів і поворотів. Вулично-дорожня мережа є прикладом геометричної мережі. Світовий досвід довів, що оптимальним для зберігання параметрів та обробки даних про геометричні мережі є геоінформаційні технології. Традиційний підхід до обробки даних про ГМ полягає в ідентифікації та збереженні у базі даних їх атрибутивних параметрів, якими фіксується лише наявність та характер зв'язків (відношень) між елементами. Визначені просторові елементи ГМ

відображуються на карті ГІС у вигляді відповідних геометричних об'єктів, які топологічно пов'язуються в єдиний мережевий об'єкт.



Рис.1.1. Елементи вулично – дорожньої мережі

Геометрична мережа являє собою систему взаємопов'язаних елементів – таких як лінії, що з'єднують точки. Мережеві елементи, такі як ребра (лінії) і вузли (точки), повинні бути топологічно з'єднані між собою, щоб забезпечувати навігацію по мережі. Крім того, ці елементи мають параметри, які управляють навігацією в мережі. Сучасні пакети програм для роботи з

ГІС дозволяють врахувати деякі топологічні відношення між об'єктами: можливість перетинання, наявності спільних точок тощо.



Рис.1.2. Приклад транспортної мережі

Вулично-дорожня мережа - це географічний об'єкт. Згідно з [4] у ГІС подання географічних об'єктів виконують за допомогою відображення їх геометричної форми на двовимірній площині з використанням елементарних графічних примітивів:

- точок (нуль-мірних векторів);
- ліній (поліліній, утворених плоскими двовимірними векторами);
- областей (форм, обмежених полігонами – замкнутою послідовністю двовимірних векторів); географічні об'єкти, що представляються областями, називають також полігональними об'єктами.

Кожне векторне утворення в цифровій формі подається координатними парами  $X, Y$ .

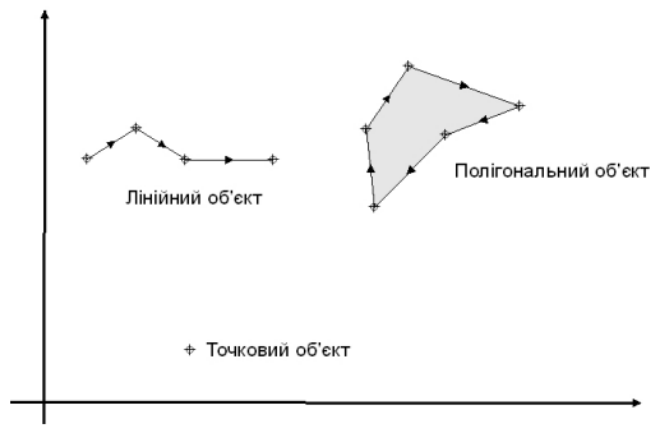


Рис. 1.3. Векторні моделі подання одиничних географічних об'єктів

Точковий географічний об'єкт представляється однією координатною парою  $X, Y$ . Лінійний географічний об'єкт представляється послідовністю координатних пар  $X_1, Y_1; X_2, Y_2; X_3, Y_3; \dots$  сегментів полілінії. Полігональний географічний об'єкт представляється послідовністю координатних пар  $X_1, Y_1; X_2, Y_2; X_3, Y_3; \dots; X_1, Y_1$  сегментів полігону. У цьому списку збіг першої і останньої пари координат означає, що полігон замкнутий. При наявності географічних об'єктів числом 2 і більш кожному привласнюється номер.

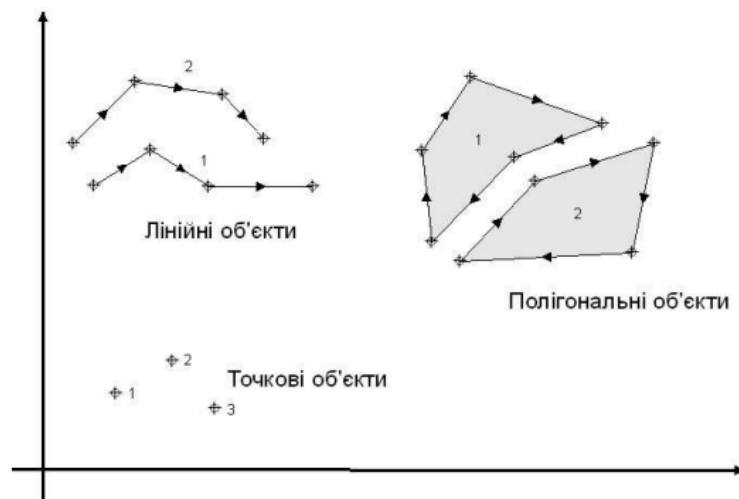


Рис.1.4. Векторні моделі подання множини географічних об'єктів

У ГІС для формування векторних моделей використовують такі координати, які представляють місце розташування географічних об'єктів в реальному земному просторі: географічні координати на сфероїді (широта, довгота) або декартові координати на площини (абсциса, ордината), отримані в певній картографічній проекції.

Концептуально тут те, що географічні об'єкти в комп'ютері зберігаються як файли координатних пар, як набори цифр, тобто в цифровій формі. Табличні списки координатних пар є форма представлення плоских цифрових файлів.

Створення векторних файлів можливе 1) шляхом введення координат з клавіатури, 2) в результаті процесу оцифрування або "дигіталізації" (від англ. Digit - цифра), тобто трансформації аналогової інформації графічних об'єктів карти в цифрову форму.

Узагальнена характеристика подання географічних об'єктів векторними моделями приведена на рис. 1.5.

Фокус моделі	Векторні дані орієнтовані на моделювання дискретних просторових об'єктів з точним визначенням форм і меж.
Джерела даних	Компіляція матеріалів аерофотознімання, збір GPS визначень, оцифрування паперових карт, оцифрування по дисплею, векторизація растрових даних, обробка даних топографічних зйомок, імпорт з САД креслень.
Зберігання просторових даних	Точки зберігаються як координатні пари; Лінії - як послідовність координатних пар; Області – як замкнута послідовність координатних пар.
Представлення просторових об'єктів	Точками представляють такі географічні об'єкти, розмірами яких для конкретної мети можна нехтувати. Лініями представляють такі географічні об'єкти, які є настільки вузькими, що мають довжину, але не мають ширини. Областями представляють такі географічні об'єкти, які мають місце розташування, форму і площу.
Топологічні відношення	Топологія ліній спирається на принцип, за яким лінії зв'язуються у вузлах. Топологія полігонів спирається на принцип, по якому полігони знаходяться зліва і праворуч від лінії.
Геопросторовий аналіз	Топологічний оверлей карт, генерування буферів і аналіз близькості, розчинення полігонів і оверлей, просторові і логічні запити, адресне геокодування, мережевий аналіз.
Картографічна продукція	Векторні дані є кращими для викреслювання точної форми і положення просторових об'єктів. Вони не зовсім придатні для безперервних явищ або просторових об'єктів з нечіткими кордонами.

Рис.1.5. Резюме представлення географічних об'єктів векторними моделями

Моніторинг – комплекс наукових, технічних, технологічних, організаційних та інших засобів, які забезпечують систематичний контроль (стеження) за станом та тенденціями розвитку природних, техногенних та

суспільних процесів. [5]. Моніторинг вулично – дорожньої мережі передбачає відстеження в режимі реального часу умов дорожнього руху та зовнішніх обставин, які можуть вплинути на використання проїжджої частини, таких як несприятлива погода, дорожньо-транспортні пригоди, тощо.

Моніторинг включає:

- моніторинг трафіку та стану вулично-дорожньої мережі;
- виявлення дорожньо-транспортних пригод;
- моніторинг погоди;
- моніторинг часу в дорозі.

Швидке реагування на дорожньо – транспортні пригоди на основі моніторингу стану доріг і дорожнього руху дозволяє оператору вжити відповідних дій для мінімізації негативних наслідків.

Основні цілі моніторингу дорожньої мережі можна узагальнити так:

- стеження за обсягами перевезень, рівнями обслуговування, дорожньо – транспортними пригодами та екологічними характеристиками доріг;
- підтримка операторів дорожньої диспетчерської у прийнятті рішень про те, як краще експлуатувати вулично-дорожню мережу;
- моніторинг та оцінка функцій вулично-дорожньої мережі;
- накопичування та архівування даних для автономного аналізу. [6]

## 1.2. Аналіз нормативно-методичного забезпечення моніторингу вулично – дорожньої мережі

Закон України «Про автомобільні дороги» від 08.09.2005 визначає правові, економічні, організаційні та соціальні засади забезпечення функціонування автомобільних доріг, їх будівництва, реконструкції, ремонту та утримання в інтересах держави і користувачів автомобільних доріг. [7]. Відповідно до статті 16 цього документу [7] вулиці і дороги міст та інших населених пунктів знаходяться у віданні органів місцевого самоврядування і є комунальною власністю. Статтею 41 цього закону [7] визначено, що фінансування будівництва, реконструкції, ремонту та утримання вулиць і доріг міст та інших населених пунктів здійснюється за рахунок місцевих бюджетів, а також інших джерел фінансування, визначених законодавством.

Закон України «Про дорожній рух» від 30.06.1993 визначає правові та соціальні основи дорожнього руху з метою захисту життя та здоров'я громадян, створення безпечних і комфортних умов для учасників руху та охорони навколишнього природного середовища. [8]

Наказ Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України «Про затвердження Порядку проведення містобудівного моніторингу» від 01.09.2011 визначає механізм проведення містобудівного моніторингу, що здійснюється щодо визначеної території з метою обґрунтування необхідності внесення змін до відповідної містобудівної документації та оновлення даних містобудівного кадастру. [9]. У частині 7 цього документу [9] міститься інформація про моніторинг просторових зв'язків та транспортної мобільності. У частині 8 [9] міститься інформація про моніторинг інфраструктури.

У Наказі Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України від 14.02.2012 «Про затвердження Технічних правил ремонту і утримання вулиць та доріг

населених пунктів» затверджені технічні правила, які використовуються при ремонті і утримання вулиць та доріг населених пунктів. [10]

Наказ Міністерства транспорту України «Про затвердження галузевого стандарту України» від 29.11.2001 поширюється на автомобільні дороги загального користування. Стандарт установлює порядок визначення та обліку ділянок і місць концентрації дорожньо-транспортних пригод на автомобільних дорогах загального користування України. [11]

У Наказі «Про затвердження Інструкції з топографічного знімання у масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 та 1:500» Головного управління геодезії, картографії та кадастру при Кабінеті Міністрів затвердженого 23 червня 1998 р. встановлені вимоги до оформлення топографічного плану, який є частиною результату моніторингу вулично-дорожньої мережі. [12]

«Умовні знаки для топографічних планів масштабів 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500» затверджений Міністерством екології та природних ресурсів України 2001 року є документом, згідно якого повинні бути відображені всі об'єкти топографічного плану вулично-дорожньої мережі.

ДБН В.2.3-5:2018 від 24.04.2018 встановлює вимоги на проектування та будівництво вулиць і доріг населених пунктів. Ці будівельні норми не поширюються на автомобільні дороги загального користування, відомчі (технологічні) автомобільні дороги та автомобільні дороги на приватних територіях. [2]

ДБН В.2.3-4:2015 «Споруди транспорту. Автомобільні дороги. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво» від 01.04.2016. Ці Норми встановлюють вимоги на проектування та будівництва нових і реконструкцію існуючих автомобільних доріг загального користування. А також, встановлюють вимоги до перехрещення інженерних мереж та

комунікацій і розміщення об'єктів сервісу в смузї відведення автомобільних доріг загального користування. [13]

ДСТУ 3587–97 «Автомобільні дороги, вулиці та залізничні переїзди Вимоги до експлуатаційного стану» від 31.06.1997. Даний нормативний документ встановлює вимоги до експлуатаційного стану автомобільних доріг, вулиць населених пунктів, залізничних переїздів та технічних засобів організації дорожнього руху. [14]

ДСТУ 8747:2017 «Автомобільні дороги. Види та переліки робіт з ремонтів та експлуатаційного утримання» від 20.12.2017 Цей стандарт установлює види ремонтів та переліки робіт з капітального, поточного ремонтів та робіт з експлуатаційного утримання автомобільних доріг загального користування.[15]

ДСТУ 4092-2002 «Безпека дорожнього руху. Світлофори дорожні. Загальні технічні вимоги, правила застосовування та вимоги безпеки» від 01.01.2003. Цей стандарт установлює загальні технічні вимоги та правила застосовування до світлофорів дорожніх, які призначені для регулювання руху транспортних засобів і пішоходів на автомобільних дорогах і вулицях(далі — дорогах) та залізничних переїздах. [16]

Стандарт ДСТУ 2587:2010 від 11.02.2021 «Безпека дорожнього руху. Розмітка дорожня. Загальні технічні умови» поширюється на розмітку автомобільних доріг і вулиць встановлює основні параметри, розміри, загальні технічні вимоги та правила застосовування її на автомобільних дорогах, вулицях та залізничних переїздах. [17]

ГБН В.2.3-218-007-2012 «Екологічні вимоги до автомобільних доріг. Проектування» від 06.08.2012. Ці галузеві будівельні норми визначають вимоги проектування при будівництві, реконструкції та капітальному

ремонті автомобільних доріг загального користування та штучних споруд на них стосовно захисту навколишнього середовища. [18]

Міжнародний стандарт ISO 8608 «Механічна вібрація. Профілі дорожнього покриття. Подання вимірних даних» визначає єдиний метод звітування про виміряні дані вертикального профілю дороги для одноколієвих або багатокілієвих вимірювань. Це стосується звітності вимірних даних вертикального профілю, отриманих на дорогах, вулицях і шосе, а також на бездоріжжі. [19]

ISO 39001 «Система менеджменту безпеки дорожнього руху. Вимоги з інструкцією щодо використання» від 01.10.2012 визначає вимоги до системи управління безпекою дорожнього руху (БДР), щоб дозволити організації, яка взаємодіє з системою дорожнього руху, зменшити смертність та серйозні травми, пов'язані з дорожньо-транспортними пригодами, на які вона може впливати. Вимоги ISO 39001:2012 включають розробку та впровадження відповідної політики БДР, розробку цілей і планів дій БДР, які враховують правові та інші вимоги, на які організація підписалася, а також інформацію про елементи та критерії, пов'язані з БДР, які організація визначає ті, які вона може контролювати, і ті, на які вона може впливати. [20]

IS EN 1436 «Європейський стандарт для дорожньої розмітки» від 17.01.2018 визначає різні рівні продуктивності, які дозволені для використання в контрактній специфікації, яка регулюватиме необхідну якість дорожньої розмітки. Цей стандарт також описує методи вимірювання різних експлуатаційних характеристик. Ці стандарти IS EN мають ряд рівнів якості, визначених для кількох характеристик дорожньої розмітки. Стандарт визначає характеристики білої та жовтої дорожньої розмітки на основі яскравості (колір), видимості вдень, видимості вночі та стійкості до заносу в поєднанні з довговічністю. Ці специфікації також пояснюють важливість дорожньої розмітки для видимості в мокру ніч. [21]

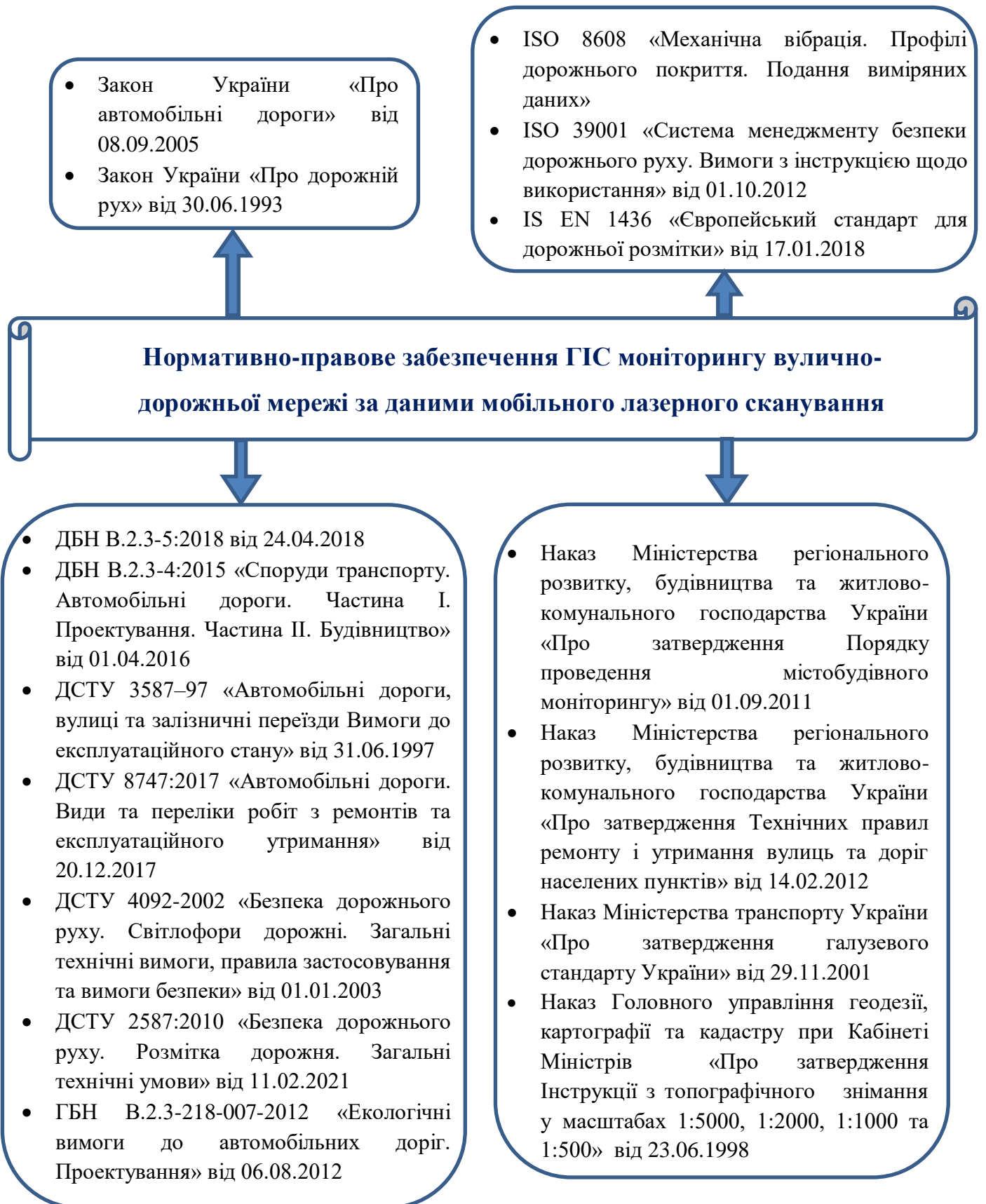


Рис.1.6. Схема нормативно-правового забезпечення

### 1.3. Моніторинг вулично-дорожньої мережі: досвід ведення та впровадження

Багато уваги привернуло створення системи моніторингу дорожнього руху, яка може надавати інформацію про стан дорожнього руху в режимі реального часу. З одного боку, це може допомогти спланувати маршрути для міських пасажирів, щоб уникнути заторів, а з іншого боку, це може забезпечити підтримку даних для ефективного управління та планування міста.

Згідно зі статтею «Citywide road-network traffic monitoring using large-scale mobile signaling data» [22] методи моніторингу трафіку в основному поділяють на такі категорії:

Перша категорія – це традиційні підходи, які засновуються на пристроях, встановлених на дорогах, для збору інформації про дорожні умови та використання. Наприклад, вимірювання умови руху безпосередньо через індуктивні петлеві детектори, вбудовані в сегменти доріг, моніторинг транспортного потоку і швидкості транспортних засобів за допомогою камер, розміщених на перехрестях доріг. Через високу вартість обладнання та монтажу такі підходи навряд чи раціонально використовувати для охоплення всієї території. Щоб вирішити цю проблему, був запропонований підхід мережевої томографії, сутність якого можливість вимірювання часу в дорозі транспортного засобу, використовуючи лише обмежену кількість камер, розміщених на перехрестях доріг. Однак несправності обладнання та погані сигнали можуть призвести до серйозної втрати даних і мати значний вплив на результати моніторингу руху.

Друга категорія, дані GPS транспортних засобів можна легко отримати, оскільки більшість таксі та автобусів обладнані GPS-обладнанням, тому є багато досліджень щодо моніторингу руху [23,24], ідентифікації заторів [25] та прогнозування руху [26–29] на основі даних GPS автомобіля. Проблема полягає в тому, що ці методи повинні спочатку узгоджувати точки GPS з

дорожньою мережею. Для високочастотних даних GPS їх можна легко порівняти, оскільки щільні точки траєкторії GPS можуть чітко ідентифікувати відповідні ділянки дороги за відстанню. Однак більшість транспортних засобів мають низьку частоту дискретизації, інтервал дискретизації може становити від 30 с до 1 хвилини навіть більше, що ускладнює узгодження карти для даних GPS. Для вирішення цієї проблеми було запропоновано деякий інкрементний алгоритм і глобальний алгоритм, заснований на діапазоні GPS [30–32]. Хоча дані траєкторії транспортних засобів можуть добре відображати умови дорожнього руху, все ж є недолік, що траєкторії таксі та автобусів мають свої особливості і не можуть представляти інші типи транспортних засобів, тому це спричиняє певні відхилення даних.

Інші методи моніторингу дорожнього руху в основному базуються на даних реєстрації [33] або методі діагностики натовпу [34]. Ці методи використовують різні дані для здійснення моніторингу дорожнього руху з нової точки зору, однак вони все ще страждають від обмеженого охоплення, розрідженості даних або відхилення даних.

У роботі [22] надаються дані про схему моніторингу трафіку під назвою Urban-STM за допомогою даних сигналізації мобільного телефону. Існують деякі інші дослідження щодо даних сигналізації мобільного телефону, які були зосереджені на узгодженні карти для даних сигналізації. На відміну від цих методів, Urban-STM інтегрував історичні траєкторії GPS 2000 таксі для розрахунку матриці ймовірностей НММ, а результати експерименту показують, що Urban-STM покращує ефективність моніторингу трафіку з точки зору покриття та точності. Затори в основному виникають через невідомі фактори, як-от погані погодні умови, неочікувана поломка автомобіля або дорожньо-транспортна пригода. Отже, для визначення вільних шляхів від заторів необхідно проводити постійну оцінку дорожнього руху. На відміну від звичайних датчиків, які використовуються

для моніторингу дорожнього руху, таких як Auto Scope, петлеві детектори тощо, камери забезпечують найкращу технологію для отримання даних у реальному часі завдяки їх більшому діапазону сприйняття.

Моніторинг дорожнього руху вже давно є темою дослідження. Першу схему моніторингу трафіку на основі зображень запровадили Коллер та ін. [35]. Фільтр Калмана та контурні треки використовувалися для аналізу та класифікації місць дорожнього руху. Беймер та ін. [36] доповнили, виявляючи неповторні інциденти на дорозі та пов'язуючи це із заторами на автомагістралях. У роботі [23] запропоновано функціональний метод виявлення та відстеження транспортних засобів, що рухаються в режимі реального часу. Вони відстежують особливості, менш чутливі до часткової оклюзії.

Масуд та ін. [37] запропонували систему на основі бачення для моніторингу дорожнього руху на ділянках доріг. Вони використовували просту прямокутну ділянку разом із динамічною моделлю поведінки для характеристики транспортного засобу, що рухається. Вони відстежували транспортні засоби за допомогою розширеного фільтра Калмана. У [38] автори застосували модель змії для вилучення контурів транспортних засобів, а потім використали ці контури як основу для стеження за транспортними засобами. Однак ці функції дуже чутливі до оклюзії, шуму та умов навколишнього освітлення.

Ченг та ін. [40] розробили схему оцінки трафіку на основі фільтра частин, яка використовує дані передачі. Для реалізації цієї стратегії для кожного транспортного засобу потрібен мобільний телефон, що іноді стає непрактичним. Просторові точки інтересу (SIP) легко виявити на зображенні дорожнього руху, Миколайчик і Шмід [24] описали детектор точок інтересу, інваріантний до масштабних та афінних перетворень. Вони використовували детектор Харріса для виявлення точок інтересу. Лі та Поріклі [41]

використовували дискретне косинусне перетворення у просторовій та часовій областях як особливості та використовували приховану модель Маркова (НММ) для виявлення подій.

У [42, 34] наведено цікаве формулювання для моделювання транспортного потоку на дорозі, тобто де конкретний транспортний засіб, в якій смузі та в якій точці на основі нечіткого групування. Комбінація даних про трафік у режимі реального часу високої роздільної здатності з моделлю миттєвих викидів запропонована в [43], що є гібридним підходом. Цей підхід більш схильний до моделей викидів енергії для прогнозування типу транспортного засобу та його траєкторії. В роботі [44] представлено обчислення середнього значення, стандартного відхилення та ексцесу для визначення транспортного потоку, динамічного стану дороги шляхом розрахунку середньоквадратичної помилки та інших статистичних похибок. Робота [28] є тематичним дослідженням, в якому обговорюються декілька рекомендацій щодо визначення умов транспортного потоку.

Крім того, існує ряд посилань, у яких передбачення трафіку в реальному часі виконується за допомогою нейронних мереж, наприклад [29, 30]. Алгоритми, які базуються на критерії відстеження транспортних засобів і сегментації зображень, стають застарілими у випадку онлайн-процесу/процесу реального часу через їх обчислювальну складність та більший час виконання. Метод, запропонований у [31], виявляє та відстежує транспортні засоби у світлий час доби та класифікує їх у восьми різних станах, хоча запропонований алгоритм досить гарний, але він погано працює в нічний час та в різних погодних умовах. Ченг та ін. [30] враховують 15-хвилинну інтенсивність руху на швидкісній дорозі вдень і намагаються спрогнозувати інтенсивність руху на наступні 15 хвилин за допомогою нейронних мереж. Хоча точність представлена гарна, але обсяг цієї статті дещо обмежений. Вони розглядали три точки на одній швидкісній дорозі в денний час в будні, також цей підхід має високу обчислювальну складність і

вимоги до пам'яті, тому масштабування цієї роботи до повноцінної мережі є складним. Тому цей алгоритм буде нежиттєздатним для систем реального часу. Дослідницька робота [32] спрямована на оцінку параметрів у моделі, яка приймає як просторові, так і часові кореляції в мережі доріг.

Для створення чудових мобільних додатків необхідний високопродуктивний моніторинг трафіку. І програми ETC, і ITS можуть відповідати вимогам, лише якщо зібрані дані та інформація є надійними та, перш за все, правильними. Датчики постійної установки Sensor Line відповідають цим вимогам на найвищому рівні і тому підтримують багато програм ETC та ITS краще всього.

SENSOR LINE використовується у всьому світі. З 1996 року було успішно встановлено понад 50 000 систем приблизно в 50 країнах світу. Прогресивні технологічні розробки, а також висока якість та надійність продукції зробили Sensor Line лідером світового ринку в області волоконно-оптичних датчиків руху. Штаб-квартира компанії, відділ розробки та виробнича база знаходяться у Шробенхаузені, Німеччина. [45]

**Лазерне сканування доріг в Україні.** Лазерний сканер визначає координати всіх точок в межах радіусу своєї дії. Крім координат, у кожній точці буде інформація про реальний колір та інтенсивність відображення. Сформовані хмари точок повноцінно відображають простір так, яким він був в момент сканування.

Зйомка методом лазерного сканування є найбільш безпечним та економічно вигідним методом зйомки, адже основна складність при проведенні зйомок доріг - це необхідність зупинок або обмеження руху. Навіть якщо по ділянці дороги, що знімається, безупинно їдуть автомобілі, то при обробці хмари точок можна вибрати одну точку, що належить дорожньому покриттю і включити функцію побудови згладженої поверхні. Програма обробки хмари точок автоматично вибере всі точки, що лежать на

площині в межах, заданих параметрами побудови цієї поверхні: максимальна відстань від середнього рівня, кут піднесення, найбільша відстань між двома сусідніми точками і найбільший діапазон поверхні. Таким чином, для побудови тривимірної поверхні будуть відібрані тільки ті точки, які належать дорозі.

Програмне забезпечення дозволяє автоматично відібрати тільки ті точки, які належать дорозі та побудувати по ним тривимірну поверхню. Також формує звіти про виконані роботи з автоматичним профілюванням доріг і побудовою осі дорожнього полотна. [46]

**Приклад застосування технології лазерного сканування на реальних об'єктах.** Сканування ділянки кільцевої траси М-01. Об'єктом геодезичної зйомки та лазерного сканування була ділянка траси М-01 "Київ – Чернігів – Нові Яриловичі": км 25+800 – км 37+300 (М-01, обхід м. Бровари) від примикання Північно-Східного обходу м. Києва село Калинівка Київської області, що входить до проекту масштабної реконструкції великої кільцевої автомобільної дороги навколо Києва.

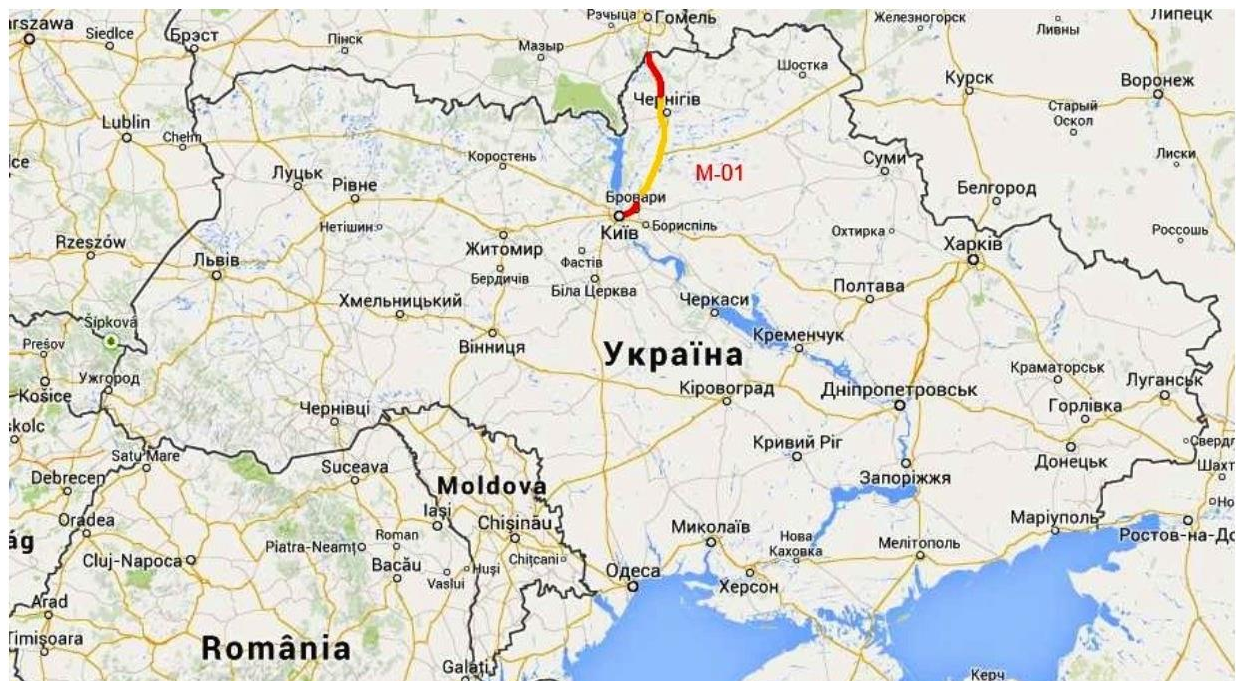


Рис.1.7. Відображення ділянки кільцевої траси М-01 на карті України

Ділянка великої кільцевої автомобільної дороги навколо Києва, на якій потрібно було провести геодезичні виміри, сильно завантажена автотранспортом, що рухається, що унеможливорює виконання вимірювання за допомогою стандартних інструментів (рейка, тахеометр), не перекриваючи рух автотранспорту. Тому для проведення геодезичних вимірів дорожнього полотна було застосовано метод наземного лазерного сканування.

При виконанні польових робіт з геодезичних вимірів поверхні дороги методом лазерного сканування було прокладено 11 км теодолітних ходів. Геодезична прив'язка лазерного сканера виконувалась з точок теодолітного ходу полярним методом за допомогою електронного тахеометра Leica FlexLine TS06 2". Польові вимірювання виконувались шляхом зйомки поверхні ділянок зі станцій, що розташовуються на неукріпленій частині розділової смуги, розташованої між смугами руху основних напрямків, з областю сканування 50-70 м у кожную сторону, хоча спочатку передбачалося область сканування 100-150 м у кожную сторону. Початкова область сканування (100-150 м у кожную сторону) визначалася пробними вимірами на трасі Харків-Чугуїв, але в процесі сканування об'єкта було зроблено коригування області сканування у бік зменшення. Це було викликано кількома причинами: відбиваюча здатність дорожнього покриття мала, що не дозволяє отримувати дані на великій відстані; наявність вологи на дорожньому покритті внаслідок періодичних злив також знижувала відбивну здатність покриття.

Крок сканування поверхні по довжині становив 10-30 см. Усього під час виконання робіт було зроблено 97 точок стояння сканера з них 94 точки сканування самого дорожнього полотна і 3 точки сканування під шляхопроводом. Всього при скануванні дорожнього покриття було отримано понад 23 мільйони координатних точок. В результаті обробки даних сканування було отримано об'єктивну модель автодороги з багатомільйонної кількості точок. Згідно з вимогами технічного завдання як кінцевий

результат був представлений набір профілів з кроком 20 м в форматі DXF і креслення «План цифрової моделі покриття дороги» М 1:1000. Контроль виконання робіт на всіх етапах здійснювався начальником відділу. За результатами контролю встановлено, що роботи виконані у повному обсязі та відповідають вимогам замовника та чинного законодавства. У процесі роботи підтверджено коректність використання технології лазерного сканування для даного напрямку геодезичних робіт, оскільки в процесі зйомки було отримано вичерпні дані про необхідну ділянку дороги, які неможливо отримати за допомогою електронного тахеометра. Також у кілька разів скорочується процес зйомки за рахунок застосування лазерного 3D сканера Leica ScanStation в порівнянні з використанням тахеометра. Недоліків у процесі геодезичних робіт не виявлено, всі результати робіт є позитивними.



Рис.1.8. Процес виконання зйомки методом лазерного сканування

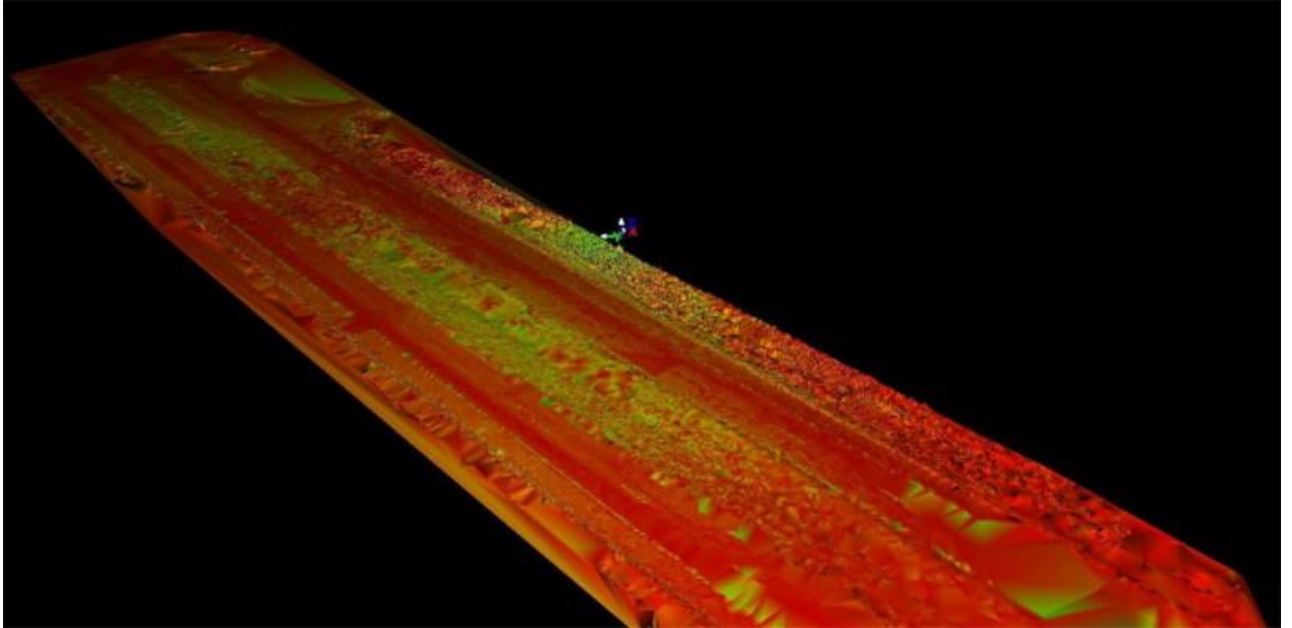


Рис.1.9. Хмара точок досліджуваної ділянки кільцевої траси М-01

**Мобільне лазерне сканування.** Leica Pegasus:Two – мобільна система збору просторових даних розроблена Leica Geosystems для сканування в русі. Використовуючи LiDAR-технології та володіючи полем зору 360° система формує високоточну хмару точок уздовж осі руху. В результаті обробки хмари 3D-точок проектувальник отримує високоякісну модель автодороги, багаторівневого комплексу автомобільних розв'язок, водного шляху, моста, залізниці і т.д. Leica SiTrack:One – технічне рішення для зйомки рейкових шляхів і прилеглої залізничної інфраструктури.

Виконавча зйомка автодороги потрібна для проектування і ремонту автомобільних трас. Зйомка доріг допомагає виконати реконструкцію і будівництво автомобільних доріг. Геодезична зйомка дороги дає можливість здійснювати моніторинг дорожніх розв'язок і регулярно оновлювати інформацію. Лазерне сканування доріг застосовують також для проектування організації дорожнього руху, що дуже важливо на великих трасах з постійним рухом.

Мости також є важливою частиною транспортної інфраструктури, адже вони забезпечують розвантаження автомагістралей. Моніторинг мостів дозволяє підвищити безпеку експлуатації мостів. Лазерне сканування мостів зводить до мінімуму випадки пошкоджень та обвалень. Сканування для реконструкції мостів необхідно для оптимізації і зниження витрат на ремонт і обслуговування складних конструкцій. А сканування для будівництва мостів дозволяє виявити різні негативні зміни і деформовані стани до їх експлуатації. Сканування ділянок мостів необхідно для контролю за швами й опорними частинами, так як в цих місцях найчастіше з'являються тріщини. Наземне лазерне сканування мостів дозволяє контролювати різні коливання, стан ґрунту.

Метод лазерного сканування має низку **переваг** у порівнянні з двома іншими методами короткокрокового геометричного нівелювання (тахеометричної або нівелірної зйомки):

- Непотрібність зупинок трафіку;
- Можливість безпечного виконання зйомки на ділянках з високим трафіком;
- Безперешкодна зйомка для руху по злітно-посадній смозі (ЗПС) (при установці лазерного сканера по краях ЗПС);
- Можливість роботи у нічний час;
- Великий обсяг даних (сотні мільйонів точок);
- Висока швидкість сканування (виконання робіт);
- Точність сканування  $\pm 4$  мм.

До **недоліків** даного методу можна віднести:

- Неможливість роботи в дощ та при від'ємній температурі;
- Відносно невелика дальність вимірів (160 м – 1 скан). [46]

**Наукові розробки України.** На веб-сайті університету ХНАДУ [47] представлені такі наукові розробки:

1. Лазерна вимірювальна система (ЛВС-ХНАДУ)



Рис.1.10. Лазерна вимірювальна система (ЛВС-ХНАДУ)

Призначення та сфера застосування. Для діагностики стану поверхні дорожніх покриттів (основ) за рівністю. Програмне забезпечення дозволяє виконувати вимірювання, записувати дані і визначати рівність покриттів в повздовжньому напрямку зокрема по IRI (Міжнародному Індексу Рівності). За умови встановлення 18 вимірювальних лазерних датчиків можлива оцінка поперечної рівності дорожніх покриттів та визначення параметрів колії.

Основні технічні характеристики

Кількість лазерних датчиків .....	від 1 до 18
Діапазон вимірювання нерівностей.....	0,1 - 500 мм
Дискретність вимірювання нерівностей.....	0,1 мм
Робоча швидкість.....	до 80 км/год
Кількість робочих режимів.....	2
Ширина вимірювання .....	2 м та 3,7 м

Стан захисту інтелектуальної власності - отримано патент України.

Стан розробки – повністю готова до виробництва. Пройшла апробацію в виробничих організаціях: ДП Центр науково-технічного супроводу дорожніх робіт та сертифікації дорожньої продукції («Дорцентр»); ДП Український

державний інститут проектування об'єктів дорожнього господарства ("Укрдіпродор").

## 2. Система відеосканування дорожніх покриттів (ОКО-ХНАДУ)



Рис.1.11. Система відеосканування дорожніх покриттів (ОКО-ХНАДУ)

Призначення та сфера застосування. Для визначення наявності дефектів на дорожніх покриттях і їх геометричних характеристик. Система може використовуватися при контролі якості нових покриттів і покриттів, що знаходяться в експлуатації. Результатом роботи системи є сумарна відомість, в якій вказується площа дефектів по їх видах. Обробка результатів вимірювань виконується в напівавтоматичному режимі. Для покращення якості отриманого зображення та підвищення точності вимірювань встановлюється системи підсвічування зони зйомки.

Стан розробки – повністю готова до виробництва. Пройшла апробацію в виробничих організаціях: ДП Центр науково-технічного супроводу дорожніх робіт та сертифікації дорожньої продукції («Дорцентр»); ДП Український державний інститут проектування об'єктів дорожнього господарства ("Укрдіпродор").

## 3. Система відеодіагностики (ВіДІО -ХНАДУ)



Рис.1.12. Система відедіагностики (ВіДІО -ХНАДУ)

Призначення та сфера застосування . Дозволяє виконувати наступні роботи: облік наявності технічних засобів організації дорожнього руху (дорожні знаки, огороження, розмітка, світлофори та інше), діагностику та моніторинг їх стану; відео паспортизацію автомобільних доріг. Результатом роботи є зведена відомість, в якій вказується вид та наявність елементів, їх розташування (прив'язка і географічні координати) стан і обсяг робіт щодо утримання та ремонту технічних засобів організації дорожнього руху. Дана система істотно спрощує діагностику технічних засобів та інженерного облаштування дозволяє планувати ремонтні роботи щодо відновлення та ремонту даних елементів автомобільних доріг.

Основні технічні характеристики

Швидкість руху автомобіля-лабораторії .....не обмежена  
 Максимальний розмір відеозображення.....1280×1024 точки  
 Щільність кадрів .....8 кадрів/сек  
 Температурний діапазон.....від - 10° С до +45 °С  
 Час роботи ..... обмежений пам'яттю комп'ютера

Можливе встановлення до 7 камер.

Стан розробки – повністю готова до виробництва. Пройшла апробацію в ДП Центр науково-технічного супроводу дорожніх робіт та сертифікації дорожньої продукції («Дорцентр»).

## РОЗДІЛ 2. МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ ГІС МОНІТОРИНГУ ВУЛИЧНО- ДОРОЖНЬОЇ МЕРЕЖІ

## 2.1. Методика ГІС моніторингу вулично-дорожньої мережі

Лазерне мобільне сканування базується на імпульсних та фазових безвідбивачевих методах вимірювання відстаней. У процесі сканування фіксується напрямок поширення лазерного променя і відстань до точок об'єкта. В результаті сканування отримують хмару точок лазерних відображень від об'єкта, що знаходиться в полі зору сканера. Ці точки мають 5 характеристик: просторові координати  $(x,y,z)$ , інтенсивність та реальний колір.

Моніторинг ВДМ ґрунтується на аналізі трьохмірної хмари точок та складається з:

- моніторингу дорожнього покриття;
- моніторинг позашляхової поверхні;
- створення топографічного плану;

Моніторинг дорожнього покриття включає в себе вилучення дорожнього покриття, виявлення та моніторинг дорожньої розмітки, моніторинг стану дорожнього покриття та виявлення кришок люків.

**Вилучення дорожнього покриття** за змістом є визначенням країв дороги, що окреслюють її межі. Було розроблено ряд підходів для виявлення бордюрів безпосередньо в 3D-даних з використанням геометричних властивостей хмари точок, таких як щільність і висота, або похідних властивостей, таких як рельєфність, яка вимірює орієнтацію вектора нормалі точки відносно вектора нормалі площини землі і успішно використовувався для виділення бордюрів або виступаючих точок у різних роботах. [48].

Інший підхід можна знайти у Cabo et al. [49], де хмара точок перетворюється на структуровану хмару ліній, а лінії групуються для виявлення країв. Хоча серед цих робіт можна знайти хороші результати, більшість із них ідентифікують бордюри як краї дороги, тому вилучення дорожнього

покриття не буде надійним, якщо воно не обмежене бордюрами, як це часто трапляється на більшості не міських доріг.

**Дорожня розмітка** є дуже важливим елементом дороги, тому що вона є необхідним джерелом інформації для водіїв та пішоходів. Для запобігання дорожньо-транспортних пригод необхідно робити систематичний моніторинг. Моніторинг дорожньої розмітки на основі даних мобільного лазерного сканування може допомогти у виконанні задач з технічного обслуговування та інвентаризації, знижуючи як вартість процесу, так і суб'єктивність інспекційної діяльності.

Дорожня розмітка має відбивну здатність, що є основною характеристикою для її виявлення. Поширеним підходом є генерація бінарних зображень на основі інтенсивності хмари точок.

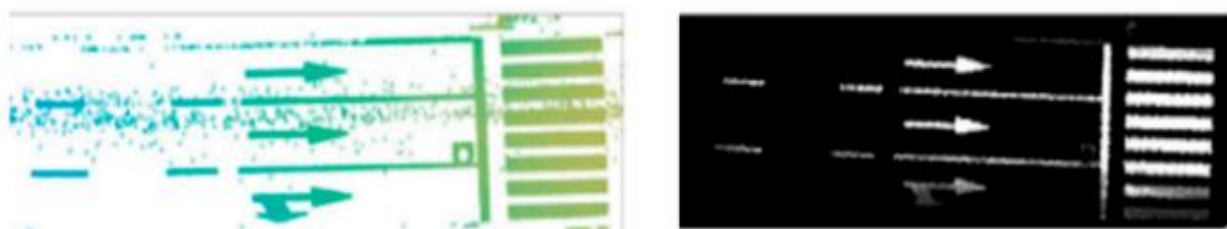


Рис.2.1. Дорожня розмітка та проїжджі смуги.

Соілан та ін. [50] застосував фільтр інтенсивності до хмари точок (ліворуч) і створив двовимірне зображення GRF, що представляє дорожню розмітку (праворуч).

Моніторинг стану дорожнього покриття базується на виявленні тріщин та ям. Використовуючи тривимірні хмари точок, Yu та ін. [51] вилучають тривимірні скелети тріщин, використовуючи послідовний підхід, заснований на попередній фільтрації на основі інтенсивності, з подальшою фільтрацією просторової щільності, евклідовою кластеризацією та методом вилучення скелета тріщини на основі L1-медіани. Однак 3D-методи не є найбільш поширеними підходами до виявлення тріщин, оскільки 3D-хмари точок

зазвичай проєктуються в 2D-зображення GRF на основі різних характеристик, таких як інтенсивність або мінімальна висота для виявлення дорожніх тріщин.

Моніторинг позашляхової поверхні включає моніторинг знаків дорожнього руху, стовпів ліній електропередач, ліхтарів та придорожніх дерев.

Знаки дорожнього руху відіграють таку ж важливу роль джерела інформації для водіїв та пішоходів, як і дорожня розмітка. Такі характеристики як стандартизована геометрія та відбивна здатність використовуються для виявлення їх.

Ай і Цай пропонують процес виявлення дорожніх знаків, який фільтрує тривимірну хмару точок на основі інтенсивності, висоти та поперечного зміщення [52]. Метод дозволяє оцінити стан світлоповертаючої здатності панелей дорожніх знаків, що безпосередньо пов'язані зі зношенням матеріалу і є важливою характеристикою моніторингу дорожніх знаків. На відміну від дорожньої розмітки існує лише кілька робіт, в яких використовуються 2D-зображення GRF для виявлення дорожніх знаків. Ривейро та ін [53] відфільтровують хмару точок, створюючи двовимірний растр на основі значень інтенсивності точок, спрощуючи згодом виявлення панелей дорожніх знаків з використанням змішаної моделі Гауса. Крім того, вони генерують растрові зображення у площині виявлених дорожніх знаків, щоб розпізнати їхню форму.

Виявлення стовпів ліній електропередач, вуличних ліхтарів та придорожніх дерев є загальним завданням при обробці тривимірної хмари точок, оскільки їхня геометрія чітко визначена і легко розпізнається. Видалення ґрунту призводить до ізоляції позашляхових об'єктів.

Отже, моніторинг дорожнього покриття та моніторинг позашляхової поверхні в цій роботі включає в себе виявлення та моніторинг таких показників:

Таблиця 2.1

Показники моніторингу дорожнього покриття та позашляхової поверхні

Складові моніторингу	Елементи ВДМ	Показники моніторингу
Моніторинг дорожнього покриття	моніторинг дорожньої розмітки	Геометрія, вид, кількість, стан
	моніторинг люків	Геометрія, вид, кількість, стан
Моніторинг позашляхової поверхні	моніторинг системи технічних засобів регулювання дорожнього руху	Геометрія, вид, кількість
	моніторинг ліній електропередач	Геометрія, вид, кількість
	моніторинг системи вуличного освітлення	Геометрія, вид, кількість
	моніторинг стану зелених насаджень	Геометрія, вид, кількість

### Створення топографічного плану як результат моніторингу ВДМ

Створення топографічного плану – це найкраща візуалізація наявної інформації про досліджуваний об’єкт – вулично-дорожню мережу. Топографічний план використовують для вирішення багатьох питань, таких як проектування будівництва, реконструкції, проведення порівняння та

аналізу наявної ситуації місцевості та інших. План є візуалізацією даних, що генерується на основі бази геопросторових даних.

База даних (БД) – сукупність даних, організованих згідно з концептуальним описом характеристик цих даних та зв'язків між відповідними об'єктами даних для підтримки однієї або декількох предметних областей (сфер). [54]

На основі даних лазерного мобільного сканування ми отримуємо інформацію про всі об'єкти, які знаходяться на дорозі або вздовж дороги.

Для досягнення мети моніторингу вулично-дорожньої мережі, а саме її стану, база геопросторових даних включає наступні класи просторових об'єктів (рис. 2.2.):

- ділянки дорожньої мережі
- ділянки вулично-дорожньої мережі
- проїжджі ділянки вулично-дорожньої мережі
- пішохідні дороги
- постійні знаки на автомобільних дорогах
- стоянки та зупинки автотранспорту
- будівлі
- в'їзди
- входи
- навіси
- лінії електропередач
- пристрої на стовпах
- опори
- смуги деревних насаджень
- трав'яниста рослинність
- чагарникова, напівчагарникова та чагарничкова рослинність
- дерева, що стоять окремо

- огорожі
- ворота
- колодязі оглядові (люки)

Всі атрибути для шарів та домени значень взяті з «Класифікатора об'єктів масштабу 1:500», автор – Карпінський Ю.О.

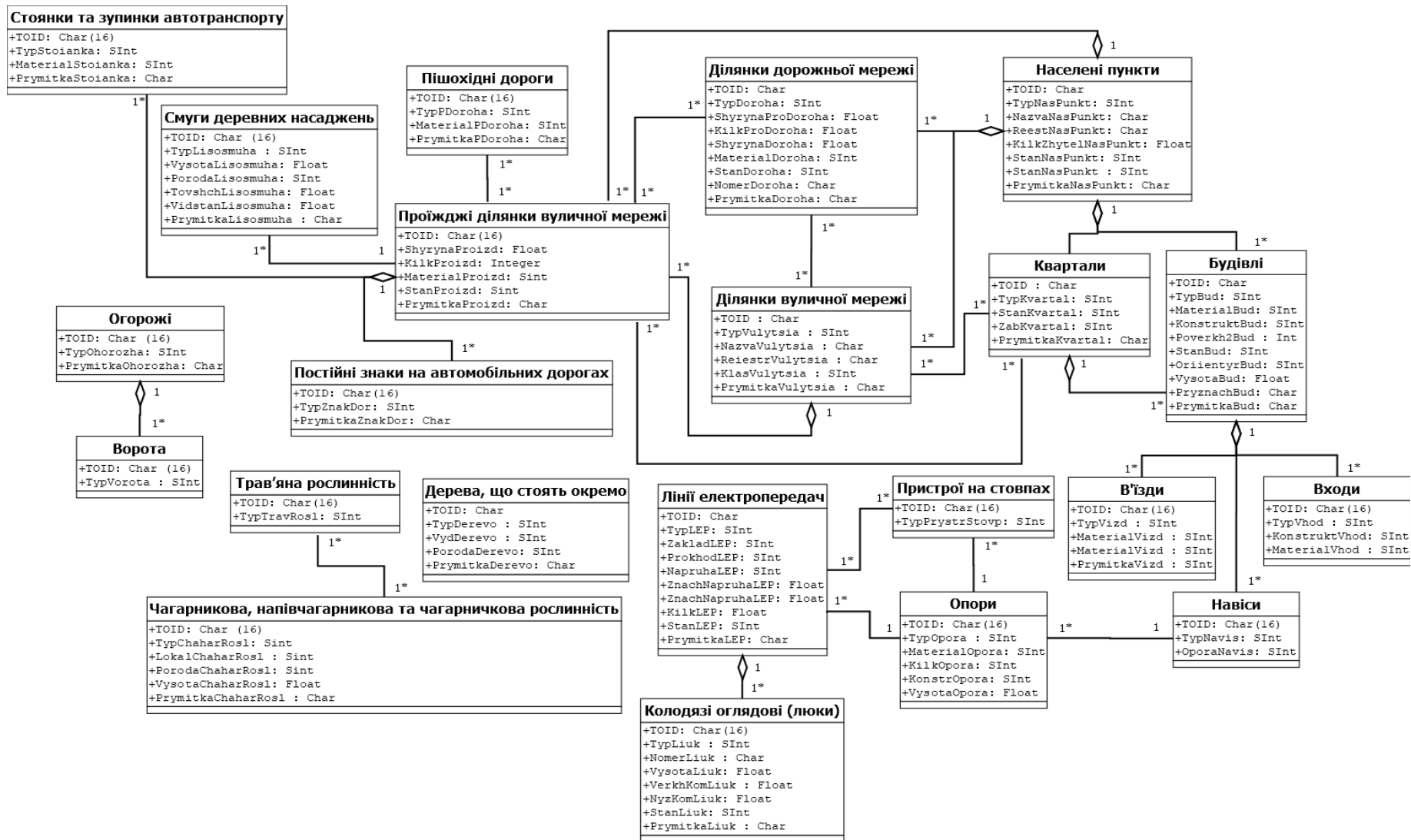


Рис.2.2. Логічна модель БД

2.2. Технологія реалізації геоінформаційного моніторингу вулично-дорожньої мережі за даними мобільного лазерного сканування

В загальному випадку, будь який моніторинг має три послідовні етапи – підготовчий, практичний та аналітичний (рис. 2.3)

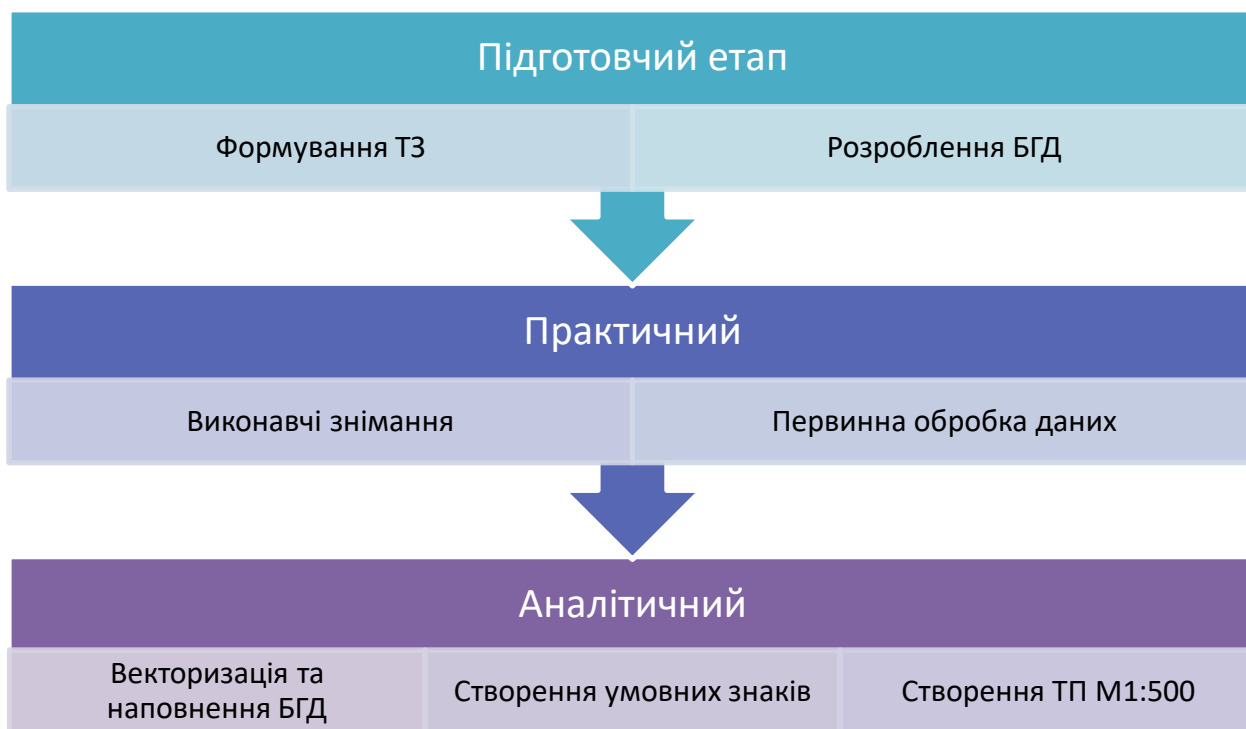


Рис. 2.3. Схема етапів моніторингу

**Підготовчий** – написання технічного завдання. Враховуючи, що на ділянки доріг, які розглядаються в роботі, не існує іншої попередньої інформації щодо їх стану, то моніторинг є первинним, а отже визначення показників відбувається в залежності від завдань. Завданням є максимальний збір інформації щодо стану вулично-дорожньої мережі, що має бути подана у вигляді топографічного плану М1:500. Відповідно перший етап включає в себе і розроблення бази геопросторових даних, що буде основою системи моніторингу вулично-дорожньої мережі. Зміст топографічного плану М1:500 визначений, відповідно треба підкреслити, що максимальне наповнення такого масштабу може забезпечити мобільне лазерне сканування.

**Збір інформації** виконується на основі виконавчих знімачів – в нашому випадку методом виконавчих знімачів обрано мобільне лазерне сканування. Відповідно другий етап включає в себе безпосередньо сканування та первинну обробку даних.

Високошвидкісний мобільний лазерний далекомір або його дзеркало встановлюється на поворотній основі. Така поворотна основа представляє собою головку для лазера. За один оберт головки далекомір може робити від сотні до тисячі вимірювань, що дає можливість детально оцінити профіль оточуючого простору в одній двохвимірній площині (рис.2.4).

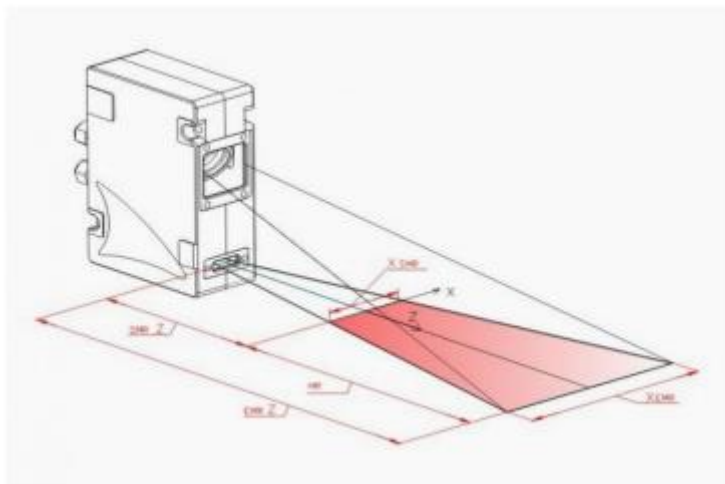


Рис. 2.4. Схема роботи мобільного лазерного скануючого пристрою

При застосуванні лазерної головки, яку встановили на базі, що пересувається з поступальним переміщенням під кутом до поверхні сканування, далекомір з будь-яким обертотом головки знімає нову площину.

Результатом такої зйомки є хмара точок.

При подальшій обробці даних необхідно знати координати окремих отриманих точок, для цього використовують інерційні навігаційні системи (ІНС), суміщені з GPS/ГЛОНАСС - приймачем геодезичного класу, в результаті чого отримують точне положення і орієнтацію лазерної головки в просторі в момент фіксування кожного виміру. [55]

Метою попередньої обробки даних мобільного лазерного сканування є отримання єдиного масиву точок лазерних сканів у потрібній системі координат. Первинна обробка даних включає зшивку, прив'язку, фільтрацію хмари точок.

Зшивка – це процес об'єднання декількох хмар точок одного об'єкта, які були отримані в процесі мобільного лазерного сканування в одній системі координат.

Фільтрація хмари точок – видалення зайвих точок – небажаних об'єктів або недостовірних точок. В процесі лазерного сканування від об'єктів, які мають дуже сильну відбивну здатність, наприклад вікон, з'являються фантомні точки, тобто такі точки, яких насправді немає в цих місцях, також такі перевідображення можуть з'являтися у вологу погоду. Тому, щоб зменшити вплив недостовірних точок, потрібно робити фільтрацію хмари точок. [56]

**Аналітичний етап** – систематизація інформації – наповнення бази геопросторових даних відповідно до технічного завдання, а саме векторизація геометрії, внесення атрибутів, та візуалізація результатів - створення топографічного плану М1:500 з оцінкою його якості.

Цей етап реалізується в такій послідовності:

1. Обрізка хмари точок. Хмара точок, отримана в результаті первинної обробки даних мобільного лазерного сканування містить в собі величезну кількість точок, які відносяться до різних об'єктів. Робота з вихідною хмарою точок майже не можлива, тому що, по-перше, це дуже великий об'єм даних і потрібне потужне програмне забезпечення, по-друге, вихідні точки перекриваються і важко розпізнати, до яких саме об'єктів вони відносяться. [57] Тому етап обрізання хмари точок і зберігання цих точок в окремі хмари є

необхідним для якісного і точного подальшого оброблення цих даних та векторизації об'єктів.

Для того, щоб точно визначити краї дорожнього покриття, ідентифікувати дорожню розмітку, виявити люки, потрібно вихідну хмару точок обрізати якомога ближче до дорожнього покриття, щоб видалити віддзеркалені точки, точки, які відносяться до автомобілів та пішоходів та всіх інших об'єктів, які перекривають дорожнє покриття. Іноді зйомку проводять у період, коли дерева вже покриті листям, це ускладнює обробку таких даних, тому точки, які відносяться до стовбурів дерев, також потрібно виокремити в хмару точок, тоді розташування дерев на вихідному топографічному плані буде вказано точно. Хмару точок для оцифрування будівель найкраще обрізати по точкам, які відносяться до стін, тому що це складні споруди з великою кількістю елементів, які перекриваються між собою. Щоб точно виявити та вказати місце положення стовпів, ліній електропередач, дорожніх знаків, хмару точок потрібно обрізати по нижній частині стовпа цих об'єктів, щоб позбутися всіх зайвих об'єктів.

2. Створення шарів для топографічної карти. При лазерному скануванні ми отримуємо точки всіх об'єктів, які є на місцевості, тому для того, щоб правильно відобразити їх на топографічному плані, для початку потрібно створити шари, які будуть об'єднувати векторизовані об'єкти в групи. Шар дає можливість задавати одні й ті ж властивості для всіх об'єктів, які знаходяться в цьому шарі, змінювати властивості одночасно для цих об'єктів. Одночасно для всього шару можна задати такі властивості: колір, товщина ліній, вид ліній, прозорість. (Рис.2.5.)

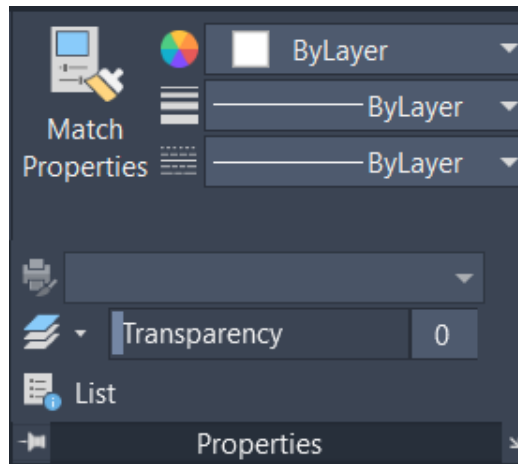


Рис.2.5. Інтерфейс вказівки властивостей шару

Так як об'єктів, які відносяться до одної групи, наприклад, дерева, що стоять окремо, можуть бути дуже багато та вони розташовані у різних місцях, створити окремі шари з однаковими властивостями – необхідно, щоб швидше та комфортніше працювати з об'єктами, не витратити час на виділення кожного об'єкта окремо та вказівки певних параметрів, також щоб уникнути плутанини характеристик між об'єктами різних груп.

AutoCad – програмне забезпечення, яке представлено в цій роботі для створення топографічної карти, має багато корисних функцій для роботи з шарами, наприклад, вимкнення шару, тобто зробити його невидимим на екрані, заморозка шару - об'єкти зникають з екрану, проте вони повністю забираються з робочого простору. При розморожуванні шару виконується регенерація креслення (його перемальовування), а значить, всі елементи будуть адекватно і правильно відобразитися на кресленні, блокування – коли шар заблокований, то в ньому не можна робити ніяких змін, це потрібно для того, щоб уникнути випадкових дій, але всі елементи видимі на екрані і щодо них можна виконувати побудови. (Рис.2.6.)

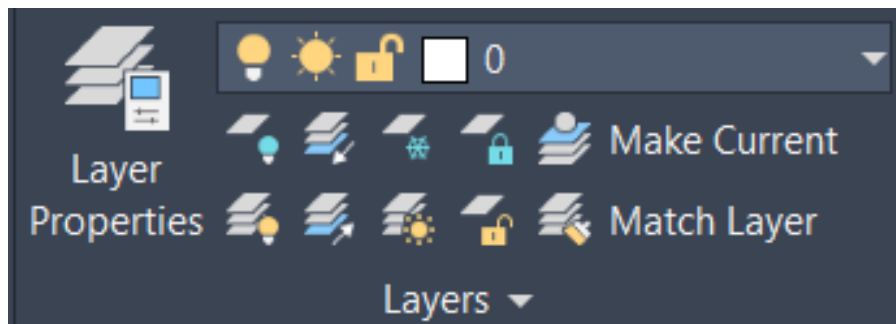


Рис.2.6. Інтерфейс програмного забезпечення AutoCAD вказівки параметрів видимості шару

Ці функції використовуються для комфортного відображення груп об'єктів на екрані та роботи з ними, тому створення окремих шарів для кожної групи об'єктів необхідне. Просторові шари, які потрібно створити в цій роботі, вказані в розділі 2.1.

3. Створення умовних знаків. В програмному забезпеченні AutoCAD є визначений набір типів ліній, але цього не достатньо, щоб коректно та точно відобразити об'єкти згідно законодавству України. Для цього потрібно створити або завантажити вже раніше створені типи ліній, які будуть відповідати вимогам відображення об'єктів на топографічних картах. Для створення умовних знаків всі характеристики їх відображення потрібно взяти з документу «Умовні знаки для топографічних планів масштабів 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500» затвердженого Міністерством екології та природних ресурсів України, 2001. Тобто треба ідентифікувати, як на топографічній карті певного масштабу, згідно законодавства, відображаються об'єкти, отримані під час лазерного мобільного сканування, створити тип лінії, або блок, або об'єкт і використовувати для оцифрування всіх об'єктів, які відносяться до цієї групи.

4. Векторизація даних лазерного мобільного сканування та внесення атрибутів. Найдовший та найбільш трудомісткий етап обробки даних. На попередніх етапах були зроблені всі процеси для полегшення роботи з хмарою точок та створені всі умови для точної та швидкої векторизації.

В програмному забезпеченні AutoCAD є функція стилізації хмари точок, тобто кольори точок будуть змінюватись за певним принципом в залежності від параметрів стилізації. При цьому певні об'єкти будуть відображатися більш яскраво та контрастно на фоні інших, тому необхідно підбирати найбільш придатний вид стилізації, щоб точно виявити межі та місцеположення об'єктів. Виконувати стилізацію можна на основі вихідних кольорів файлу сканування, кольору об'єкта AutoCAD, напрямків нормалі точок. Також можна виконувати стилізацію на основі даних про зворотну інтенсивність лазерного імпульсу, позначки або класифікації LAS, якщо необхідні дані є у хмарі точок. [58]. Є такі параметри стилізації:

Колір сканування (RGB). Стилiзація кожної точки за вихідними кольорами файлу сканування

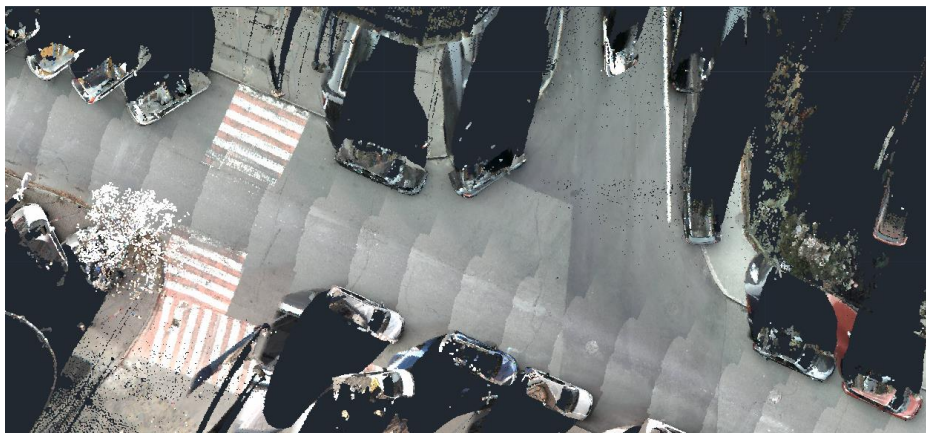


Рис. 2.7. Вид стилізації – колір сканування

Колір об'єкту. Стилiзація кожної точки за колірною властивістю об'єкта хмари точок. Колір об'єкта може змінюватись в залежності від параметрів освітлення та наявності інформації про нормалі, що зберігається разом із точками.

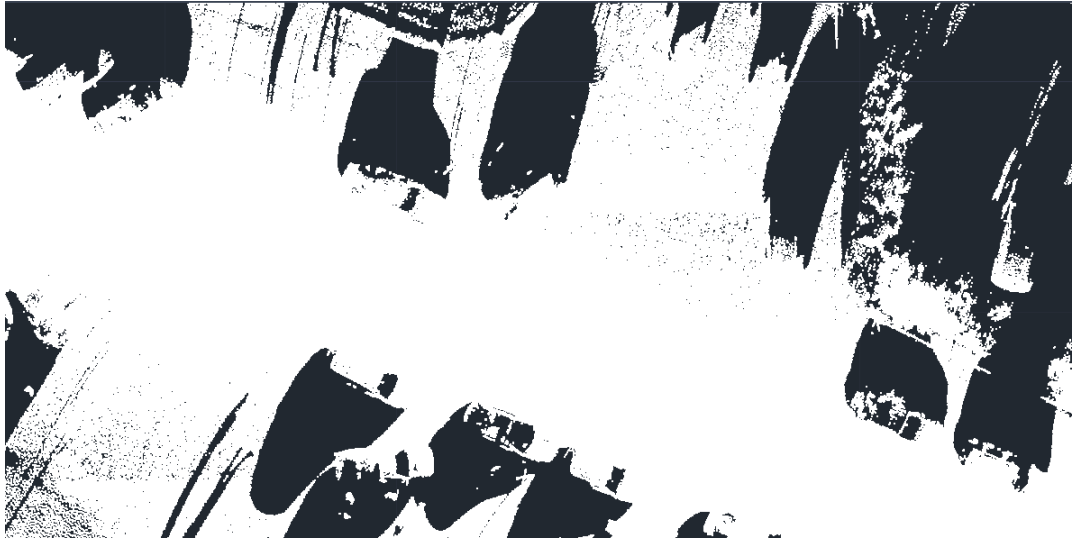


Рис. 2.8. Вид стилізації – колір об'єкту

Нормаль. Стилiзацiя кожної точки за напрямком нормалi точки на основi колiрної схеми, що не редагується, за замовчуванням. У процесi сканування хмари точок для кожної точки можна розрахувати вектор напрямку нормалi на основi iнформацiї про навколишнi точки. Таким чином, програмне забезпечення сканера формує плоскi або криволiнiйнi областi; нормаль точки — це вектор, перпендикулярний сформованiй площинi або криволiнiйнiй поверхнi.

Напрямокам по осях  $X$ ,  $Y$  i  $Z$  хмари точок надаються кольори. У процесi стилiзацiї по нормалi кожнiй точцi надається один iз цих кольорiв на пiдставi напрямку нормалi для цiєї точки. Чим ближче нормаль до напрямку осi  $X$ ,  $Y$  або  $Z$  на кресленнi, тим колiр точки ближче до кольору, присвоєного данiй осi.

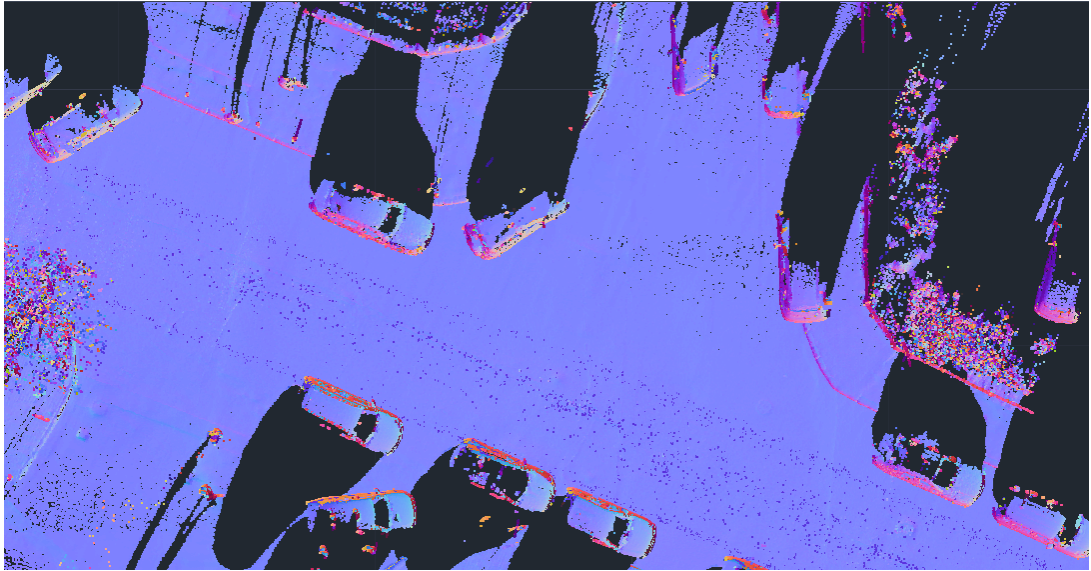


Рис. 2.9. Вид стилізації – нормаль

Інтенсивність. Стилiзація кожної точки за значенням зворотної iнтенсивностi лазерного iмпульсу. Сканери у процесi сканування визначають значення iнтенсивностi кожної точки. Iнтенсивностi - це мiра вiдбивної здатностi точки, яка може змiнюватися в залежностi вiд кольору, текстури поверхнi, кута поверхнi та навколишнього середовища.

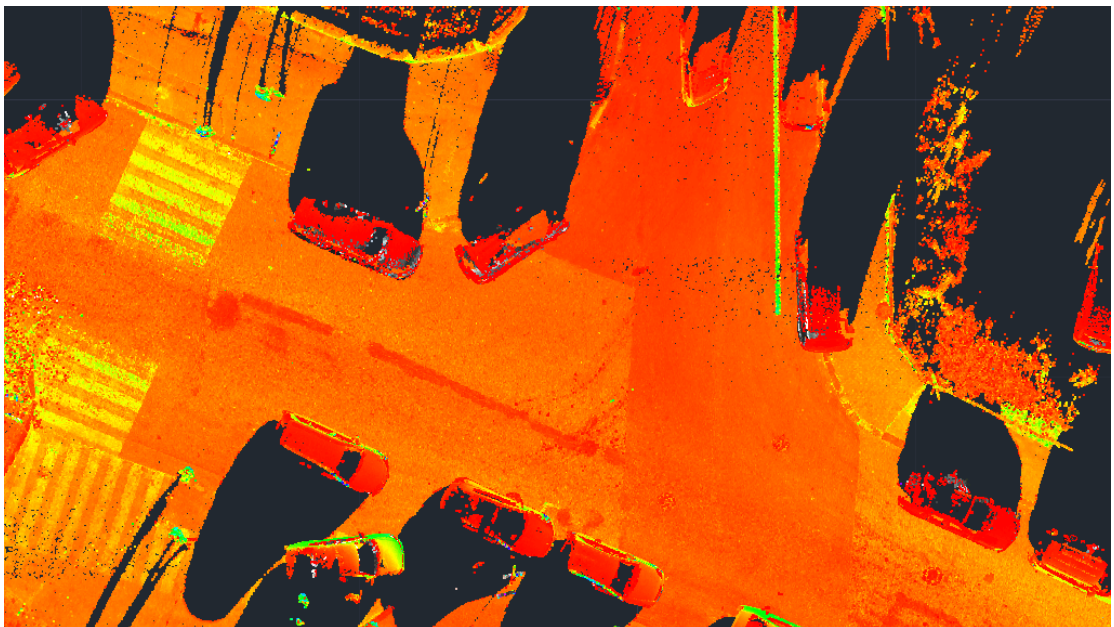


Рис. 2.10. Вид стилізації – iнтенсивностi

Рiвень. Стилiзація кожної точки за її значенням координати Z.



Рис. 2.11. Вид стилізації – рівень

Процес векторизації полягає в тому, щоб оцифрувати всі об'єкти згідно умовних знаків та вимог до створення топографічного плану певного масштабу. Так як об'єктів дуже багато, потрібно дотримуватися логічної послідовності оцифрування. Найефективніше розпочати з виявлення дорожнього покриття, для цього обираємо хмару точок, обрізану якнайближче до дорожнього покриття, підбираємо найбільш придатну стилізацію хмари точок та векторизуємо дорожнє покриття. Далі за такими ж принципом та послідовністю потрібно векторизувати всі об'єкти, використовуючи відповідні обрізані хмари точок для цих об'єктів та стилізацію хмари точок в такій послідовності: колодязі оглядові, постійні знаки на автомобільних дорогах, стоянки та зупинки автотранспорту, пішохідні дороги, будівлі, в'їзди, входи, навіси, огорожі, ворота, опори, лінії електропередач, пристрої на стовпах, смуги деревних насаджень, дерева, що стоять окремо, чагарникова рослинність, трав'яна рослинність.

Для того, щоб точно ідентифікувати об'єкт, вид об'єкта, не пропустити жодного об'єкта, потрібно використовувати додаткові джерела інформації. Можна використовувати дані з Google Maps, 2gis, використовувати картографічні дані минулих років. Також під час лазерного сканування вимірювальний блок може бути доповнений однією або декількома

фотокамерами, які дозволяють отримувати панорамні зображення, що дає можливість додатково дослідити відзняту місцевість з полем зору на 360°



Рис.2.12. Панорамне зображення, отримане під час лазерного мобільного сканування

5. Створення топографічного плану. Потрібно оформити топографічний план згідно до вимог Наказу «Про затвердження Інструкції з топографічного знімання у масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 та 1:500» Головного управління геодезії, картографії та кадастру при Кабінеті Міністрів затвердженого 23 червня 1998 р. до технічного завдання (векторизація геометрії, внесення атрибутів) та візуалізація результатів (створення топографічного плану М1:500) з оцінкою його якості.

6. Оцінка якості топографічного плану. Оцінку якості планів масштабів 1:5000, 1:2000, 1:1000 та 1:500» проводиться відповідно до документу [59]: Точність топографічних планів оцінюється за величинами розходжень положень контурів та висот точок, виміряних на плані з даними контрольних вимірів на місцевості. Критеріями оцінки якості є середні, граничні та грубі похибки, які не повинні перевищувати величини похибок, встановлених цими Основними положеннями.

Середня похибка у положенні на плані предметів та контурів місцевості з чіткими контурами відносно ближніх точок зйомочної основи не повинна перевищувати 0,5 мм, що у масштабі 1:500 – 0,25м, а в гірській та залісненій місцевості - 0,7 мм у масштабі плану – 0,35 м. Середня похибка у взаємному положенні на плані чітких контурів на забудованій території (роги капітальних будівель, люки інженерних комунікацій та інші, визначені з допомогою координування), розташованих один від одного на відстані до 100 м, не повинна перевищувати 0,3 мм у масштабі плану – 0,15м. Середня похибка зйомки рельєфу відносно ближніх точок геодезичної основи не повинна перевищувати по висоті: - 1/4 прийнятої висоти перерізу рельєфу при кутах нахилу до 2°; - 1/3 - при кутах нахилу до 10° для планів масштабу 1:500; На залісненій місцевості ці допуски збільшуються у півтора рази.

У місцевостях з кутами нахилу рельєфу більш як 10° для планів масштабу 1:500 кількість горизонталей повинна відповідати різниці висот, визначених на характерних перегінах схилів, а середні похибки висот, визначених на характерних типах рельєфу, не повинні перевищувати 1/3 прийнятої висоти перерізу рельєфу

Граничні похибки у положенні на план; предметів та контурів місцевості з чіткими контурами відносно ближніх точок зйомочної геодезичної основи не повинні перевищувати 1,0 мм, що у масштабі карти – 0,5 м, а в гірській та залісненій місцевості - 1,4 мм у масштабі плану – 0,7 м.

Граничні похибки у взаємному положенні на плані чітких контурів на забудованій території не повинні перевищувати 0,6 мм у масштабі плану – 0,3 м.

Кількість граничних похибок не повинна перевищувати 10% від загальної кількості контрольних вимірів.

При наявності грубих (випадкових) похибок їх кількість не повинна перевищувати 5%. Якщо таких похибок більше 5% - робота бракується.

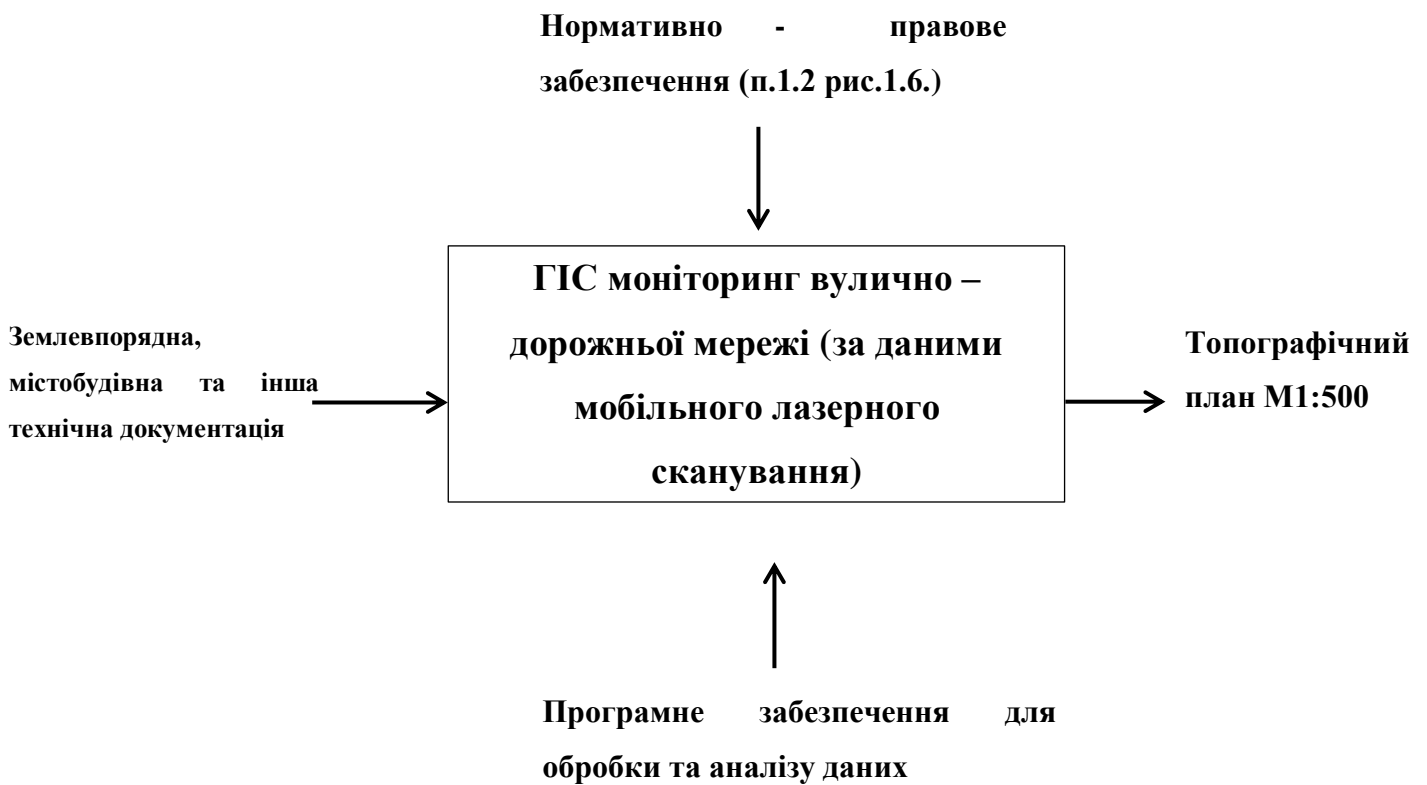


Рис. 2.13. Функціональна модель ГІС моніторингу вулично – дорожньої мережі. Рівень А0



Рис. 2.14. Функціональна модель ГІС моніторингу вулично – дорожньої мережі. Рівень А1

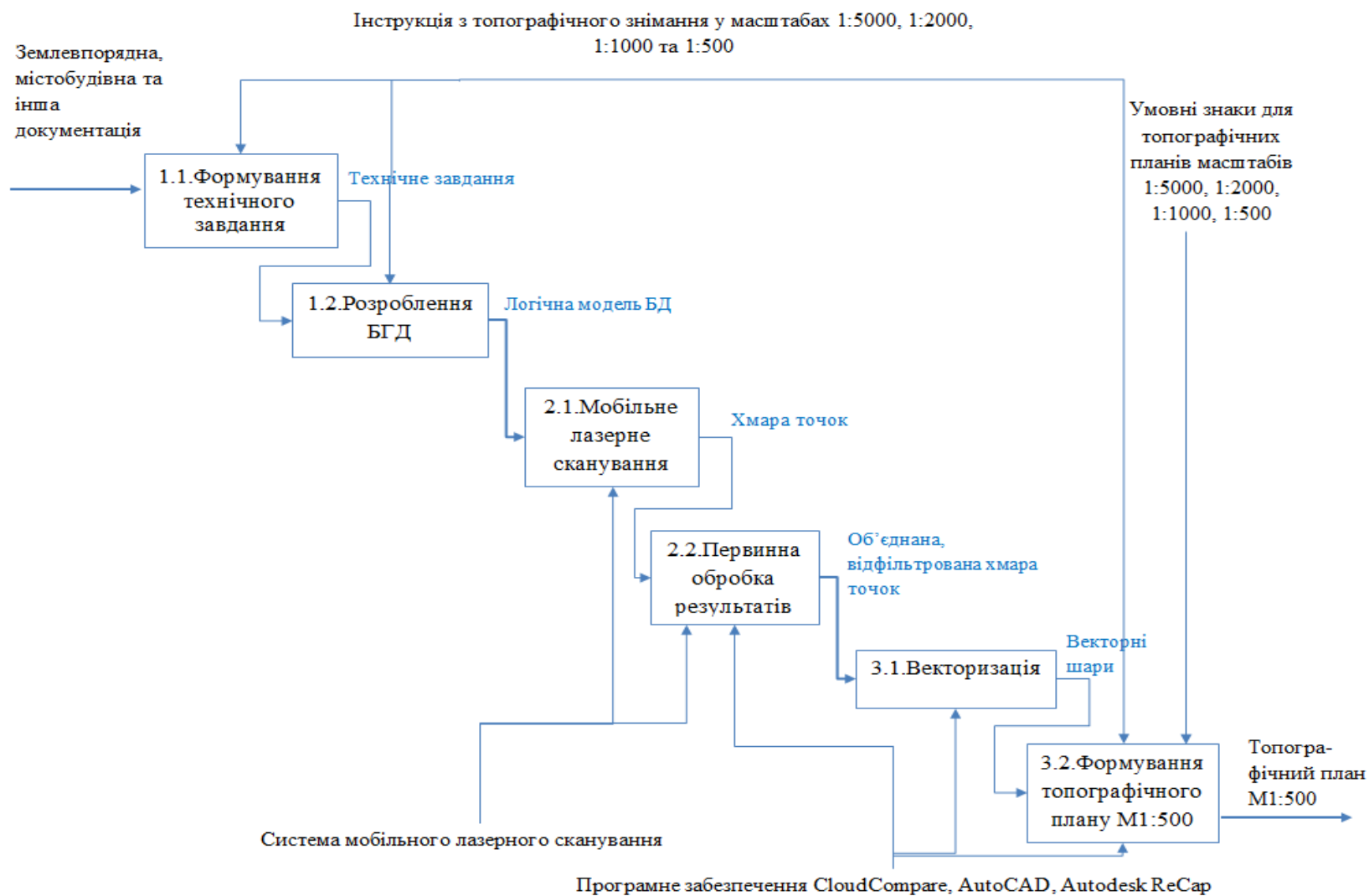


Рис. Функціональна модель ГІС моніторингу вулично – дорожньої мережі. Рівень А2

РОЗДІЛ 3. ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ГЕОІНФОРМАЦІЙНОГО  
МОНІТОРИНГУ ВУЛИЧНО-ДОРОЖНЬОЇ МЕРЕЖІ ЗА ДАНИМИ  
МОБІЛЬНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНУВАННЯ

### 3.1. Опис дослідної території та наявних вхідних даних

Для дослідної території обрана вулиця Вознесенський узвіз, яка знаходиться в столиці України – місті Київ. Обрана для дослідження вулиця сполучає історичну місцевість Кудрявець та Поділ, а саме пролягає в Шевченківському районі від вулиці Січових Стрільців до Глибочицької вулиці. До Вознесенського узвозу прилучаються Несторівський та Киянівський провулки, Петрівська і Кудрявська вулиці. Назва досліджуваної вулиці пішла від Вознесенської церкви, яка була розташована на ній у 1718-1879 роках . Територія вулиці знаходиться в заповідній зоні. За часів Київської Русі тут знаходилося торгово-ремісниче передмістя — Копирів кінець. Пам'яткою про ті часи є фундамент церкви XII століття, який розкопано на території Академії мистецтв України.

Протяжність вулиці – 865 м. Чітко поділяється на дві частини: порівняно рівну вулицю від нинішньої вулиці Січових Стрільців до Академії мистецтв України та стрімкий узвіз із тісними садибами й невисокою забудовою.

Вознесенський узвіз несе велику історичну цінність, що проявляється в забудові. Ця вулиця поєднує в собі різні епохи та напрямки в мистецтві. Багатоповерхівки співіснують разом з малоповерховими будівлями, сучасна архітектура разом з архітектурою історизму, ренесансу, бароко.

На вулиці залишилося кілька будівель XIX століття. Будинок № 13 зведений у 1893 році у стилі історизм, будинок № 18 — у 1895 році. Будинок № 26 зведено наприкінці XIX — початку XX століття у цегляному стилі з елементами ренесансу.

Пам'яткою історії та архітектури є будівля колишньої Духовної семінарії, де зараз розташовується Національна академія образотворчого мистецтва і архітектури. Її збудував у 1899–1901 роках архітектор Є. Морозов, у цегляному стилі. У 1918–1919 роках тут розміщувалися казарми корпусу Українських січових стрільців на чолі з Євгеном Коновальцем і Андрієм Мельником. Також

на Вознесенському узвозі розташована Церква святого Василя Великого — греко-католицька церква при монастирі отців василіан. Рух по вулиці Вознесенський узвіз односторонній, дорожнє покриття – асфальт. [60]

Вхідними даними є дані мобільного лазерного сканування. Для даної вулиці під час зйомки було отримано 5 сканів, тобто 5 хмар точок. Загальна кількість точок, отриманих під час мобільного лазерного сканування – 84 052 496. Щільність можна охарактеризувати відстанню між точками, яка для цих даних дорівнює 5 мм. Також під час зйомки були отримані 340 панорамних фотографій, які покривають всю довжину вулиці.

## 3.2. Моніторинг

### 3.2.1. Первинна обробка даних мобільного лазерного сканування

Роботу з даними мобільного лазерного сканування потрібно починати з первинної обробки. До первинної обробки входить зшивка (реєстрація хмар точок) та фільтрація. В даній роботі розглянута реєстрація хмар точок в програмному забезпеченні CloudCompare.

CloudCompare – це відкрите програмне забезпечення для обробки трьохвимірних хмар точок та трикутної сітки. Спочатку розроблялося лише для порівняння хмар точок, але згодом значно розширило свій функціонал і стало включати багато просунутих алгоритмів (реєстрація хмар точок, розрахунок нормалей, статистичний аналіз, сегментація тощо). CloudCompare дає змогу працювати з великими хмарами точок на стандартних ноутбуках, тому варто підкреслити, що це програмне забезпечення підходить для обробки даних мобільного лазерного сканування, яке реалізується в даній роботі.

Вихідні файли мають великі координати, тому при відкритті потрібно «зсунути» об'єкти так, щоб працювати в локальній системі координат. Якщо цього не зробити, то точність оригінальних даних втратиться. Це може статись через те, що CloudCompare та специфікація OpenGL працюють з 32- бітними значеннями чисел. Це дозволяє збільшити швидкість опрацювання даних і на

50% зменшити споживання пам'яті у порівнянні з 64-бітними значеннями. Однак 32-бітне представлення має обмежену роздільну здатність (точність). Для відновлення оригінальних координат при зберіганні результатів, CloudCompare зберігає значення зсуву та масштабу як метадані в процесі роботи.

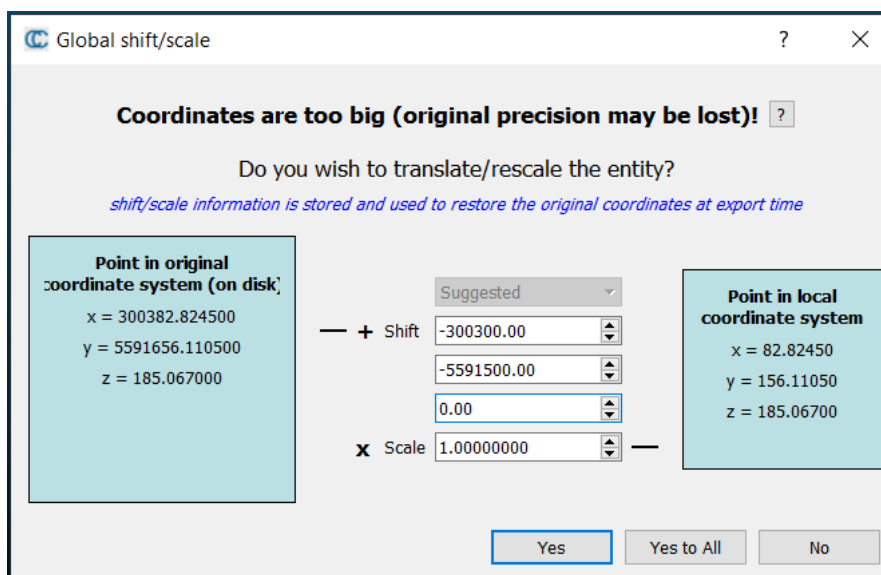


Рис. 3.1. Вікно перетворення координат CloudCompare

Перед тим, як об'єднати вихідні хмари точок в одну, їх потрібно перемістити в одну папку.

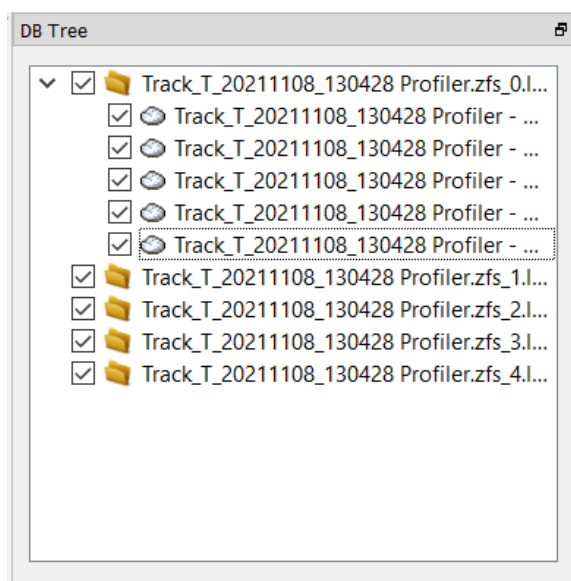


Рис.3.2. Переміщені хмари точок в одну папку в CloudCompare

Виділивши вихідні хмари точок, активується кнопка для об'єднання їх в одну.

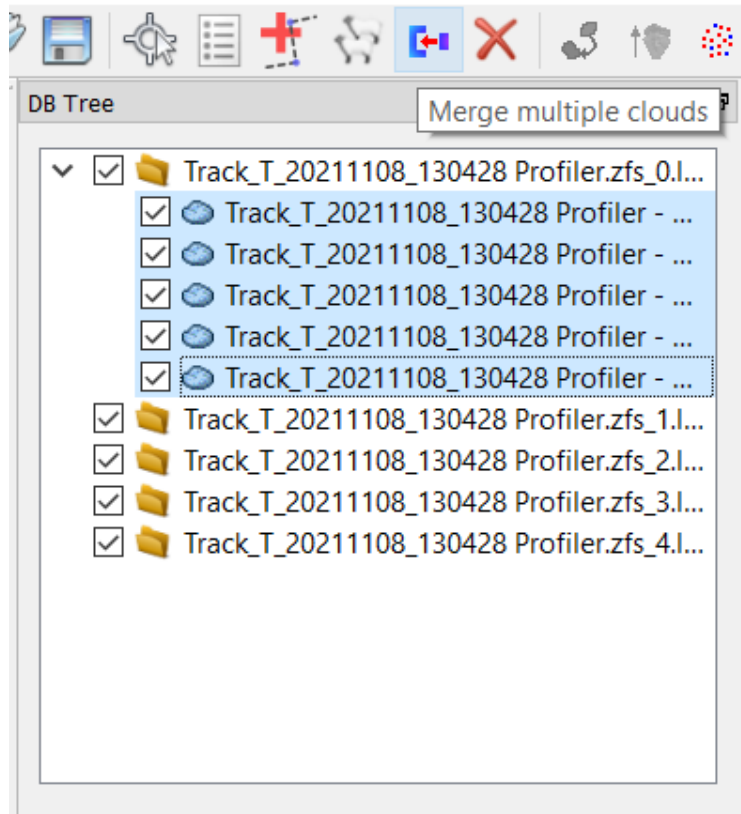


Рис.3.3. Об'єднання вихідних хмар точок в одну в CloudCompare

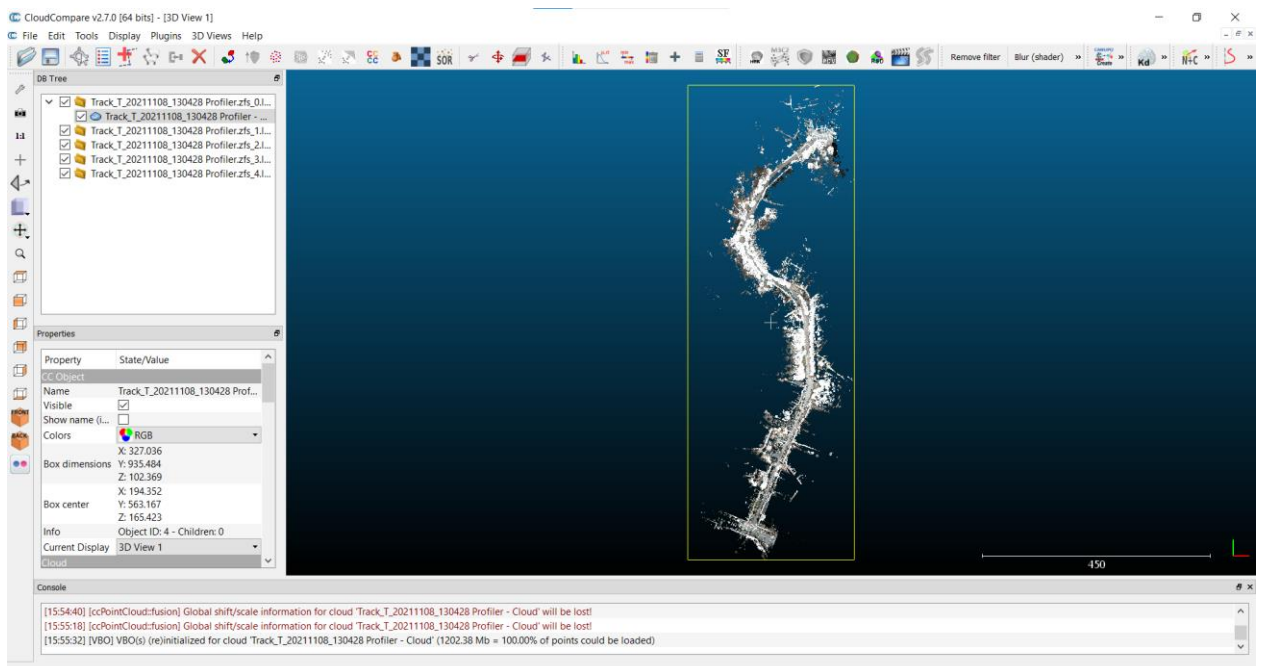


Рис.3.4. Об'єднана хмара точок в CloudCompare

Результат найкраще зберігати в форматі E57 для подальшої роботи в програмному забезпеченні Autodesk ReCap.

Наступний етап первинної обробки – фільтрація хмари точок, в даній роботі представлено виконання цього процесу в програмному забезпеченні Autodesk ReCap.

Для імпорту хмари точок в Autodesk ReCap потрібно:

Створити новий проект - натиснути на кнопку New project на головному екрані програми або натиснути Ctrl+N на клавіатурі. У спливаючому вікні необхідно вибрати Import point cloud. У наступному вспливаючому вікні потрібно вказати назву проекту та шлях збереження і натиснути кнопку Proceed. Натиснувши кнопку select files to import, загрузаємо об'єднану хмару точок (результат роботи в CloudCompare).

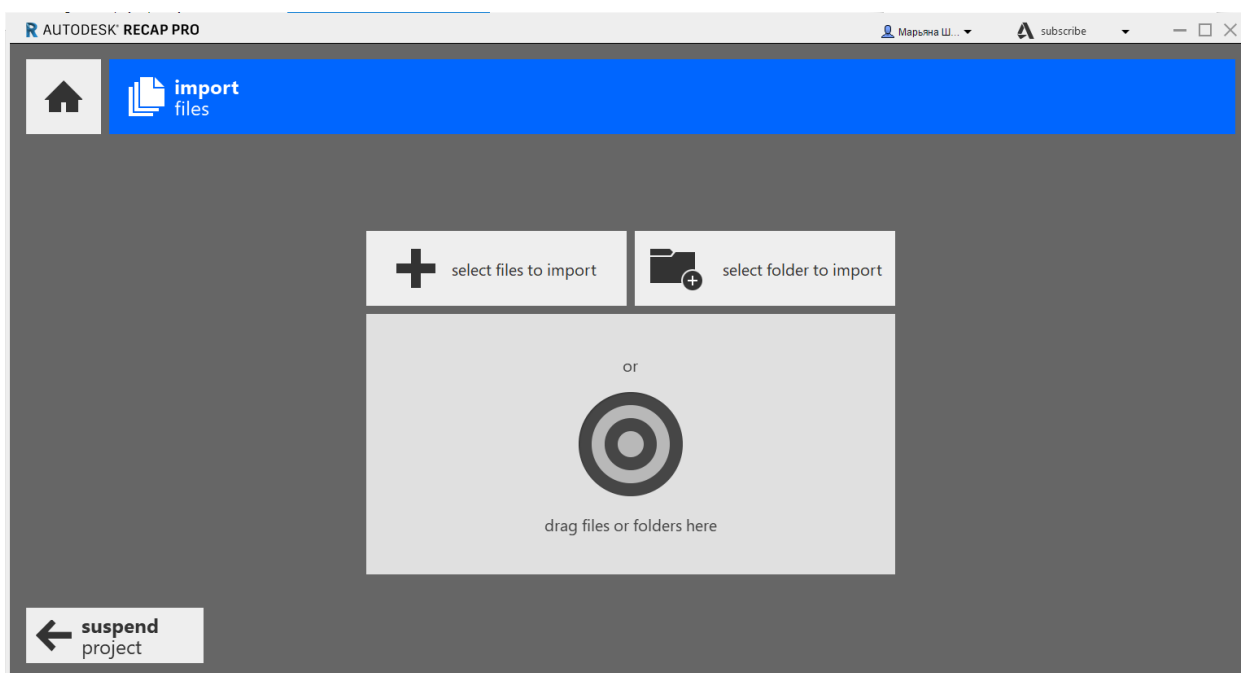


Рис.3.5. Вікно імпорту файлів в Autodesk ReCap

Після вибору файлів відкриється вікно налаштувань імпорту з двома вкладками:

- Filtering – призначена для налаштування фільтрації хмар точок лазерного сканування
- Advanced – додаткові параметри імпорту
- Decimation grid – розрідження хмари до вказаної відстані між точками. Всі точки, що знаходяться на меншій відстані будуть видалені. Стандартне значення – 5 мм (достатньо для архітектурних і планувальних проектів).
- Coordinate system – перетворення системи координат хмари точок (current – вихідна система координат, target – цільова). Для цієї роботи немає необхідності у перетворенні системи координат, тому поля потрібно залишити пустими.
- Up axis – вибір осі, що направлена вгору. Стандартно – вісь Z.

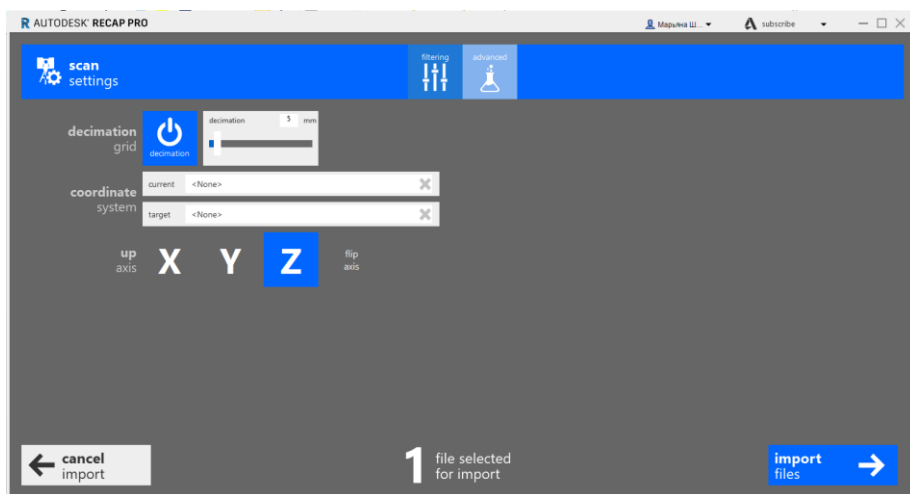


Рис. 3.6. Вікно налаштування імпорту хмар точок в ReCap

Після введення параметрів імпорту необхідно натиснути кнопку Import files.

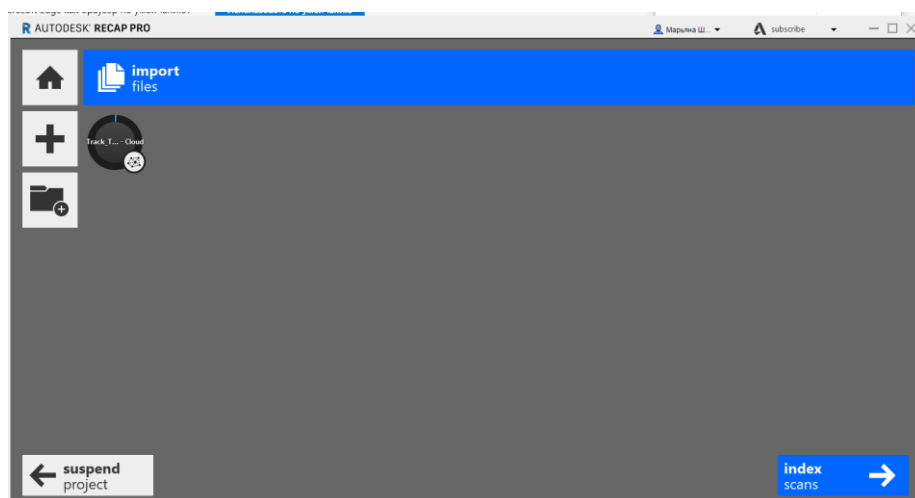


Рис.3.7. Вікно імпорту даних в ReCap

Далі потрібно натиснути кнопку Index files. Коли індексування буде закінчено проект автоматично збережеться. Для перегляду проекту потрібно натиснути кнопку Launch project.

Чистка хмар точок в ReCap проводиться вручну за допомогою інструменту Selection tool, що розміщується на нижній панелі інструментів.

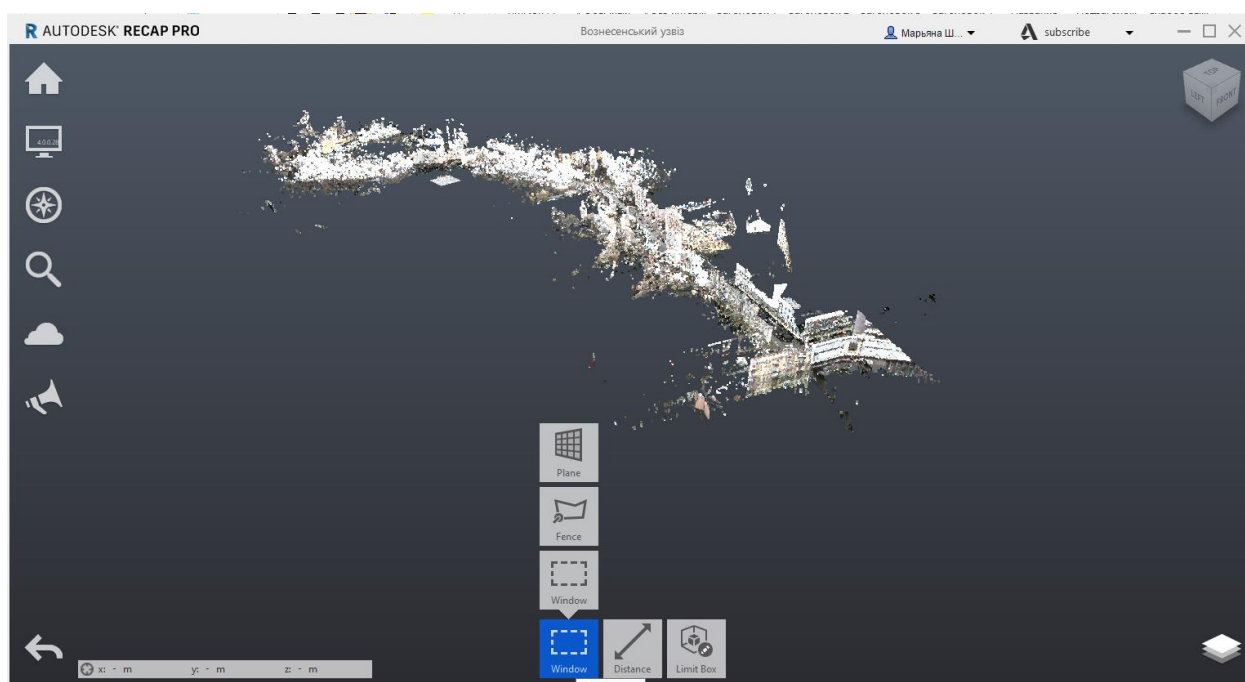


Рис.3.8. Панель інструментів Selection tool в ReCap

Для виділення точок доступні три режими:

- Window – виділення прямокутником. Необхідно вказати два протилежні кути прямокутника.
- Fence – виділення полігоном. Необхідно послідовно вказати всі точки прямокутника. Для закінчення виділення необхідно натиснути Enter або зробити подвійний клік лівою кнопкою миші.
- Plane – виділення точок, що знаходяться на одній площині. При цьому активується параметр Plane depth, який визначає допустиме відхилення точок від ідеальної площини. Для задання площини необхідно вказати на хмарі щонайменше 3 точки, що відносяться до площини, і натиснути Enter

Для видалення точок використовуємо кнопку Delete.

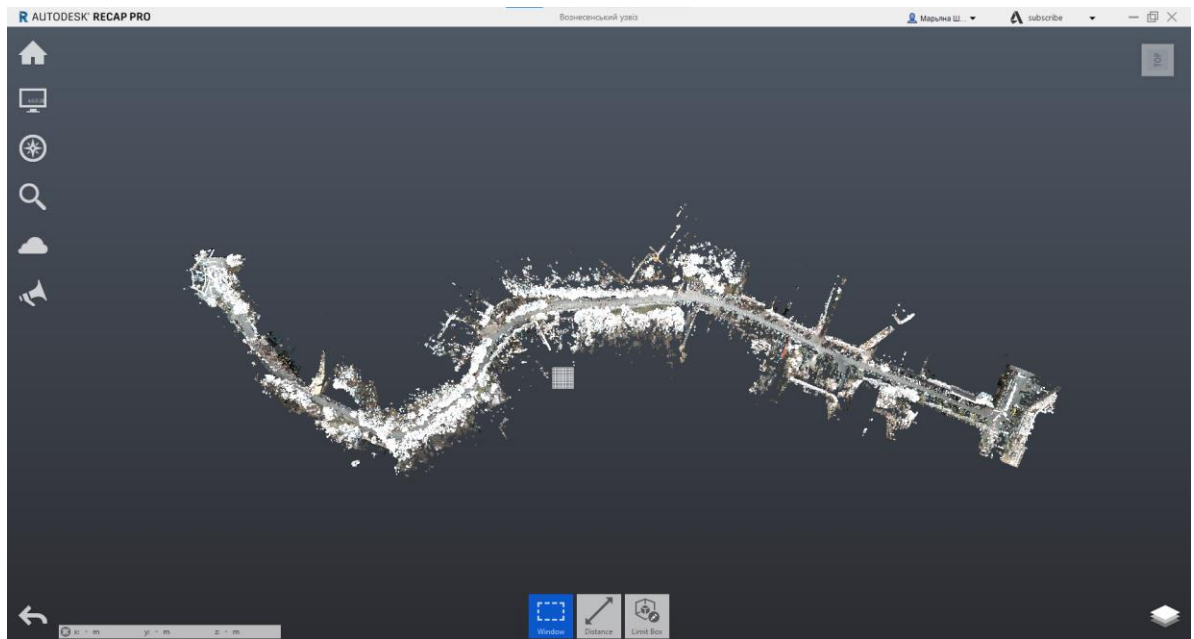


Рис.3.9. Результат чистки хмари точок в ReCap

На цьому етапі первинна обробка даних мобільного лазерного сканування закінчена.

### 3.2.2. Векторизація та формування топографічного плану М1:500

Після збереження хмари точки, яка пройшла первинну обробку, потрібно перейти до роботи в програмному забезпеченні AutoCAD.

Для завантаження хмари точок в AutoCAD, потрібно на вкладці Insert вибрати кнопку Attach, після чого вибрати шлях до проекту ReCap з хмарою. У наступному спливаючому вікні необхідно задати параметри вставлення хмари, а саме точку вставки, масштаб, поворот. Так як хмара точок вже в необхідних координатах, то точка вставки повинна мати координати  $X=0$ ,  $Y=0$ ,  $Z=0$ , масштаб = 1, кут повороту = 1

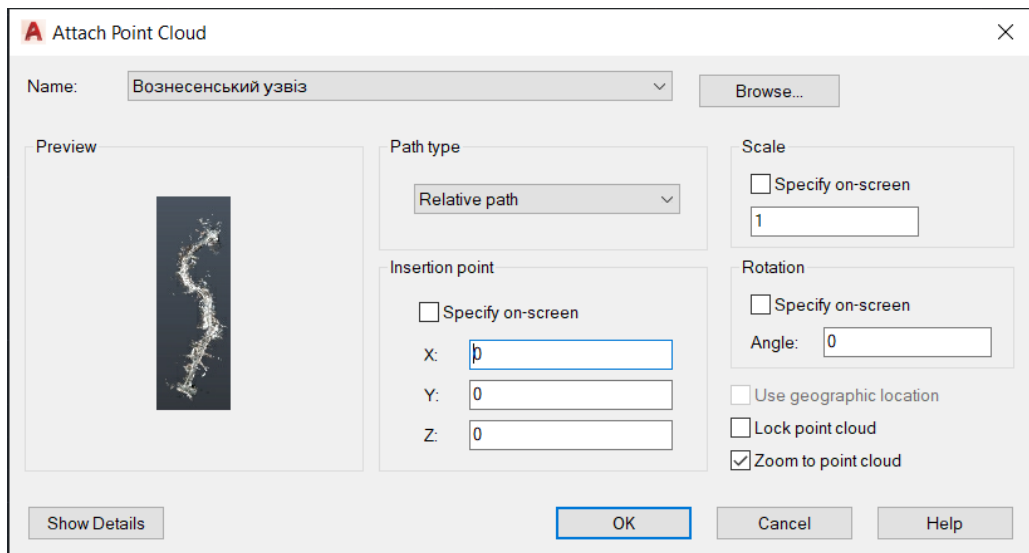


Рис.3.10. Вікно налаштування параметрів вставки хмари точок

Далі потрібно створити дві локальні системи координат. Для цього потрібно натиснути кнопку WGS – New UCS та задати напрямок осей паралельно вулиці. Після введення команди UCSMAN потрібно змінити назву системи координат на local 1. Для створення другої локальної системи координат потрібно підняти local 1 ввєрх по осі Z на 250 та зберегти як local 2. Це робиться для зручності векторизації, щоб хмара точок не перекривала креслення.

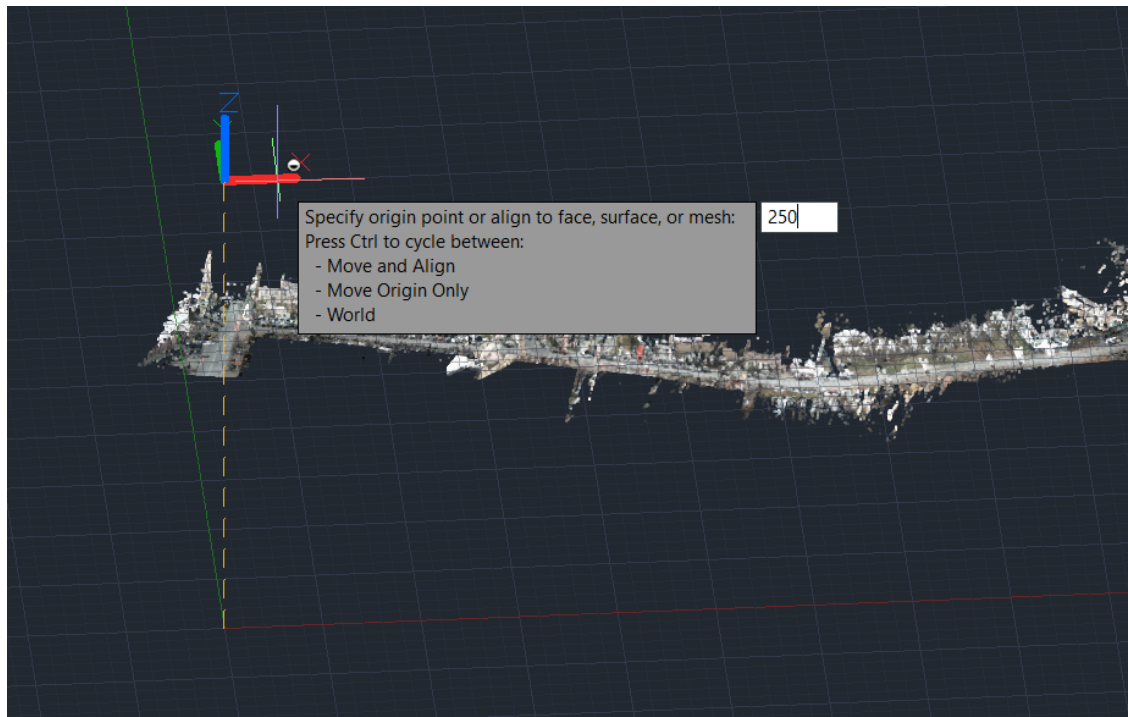


Рис.3.11. Створення локальної системи координат в AutoCAD

Наступний етап – обрізка хмари точок. Перший об’єкт, для якого потрібно зробити обрізку хмари – дорожнє покриття. Для цього потрібно натиснути на хмару точок, щоб виділити її, перейти на вкладку панелі Point Cloud, на вкладці Cropping вибрати Rectangular або Polygonal, вручну обрізати хмару так, щоб залишилось тільки дорожнє покриття та зберегти окремо.

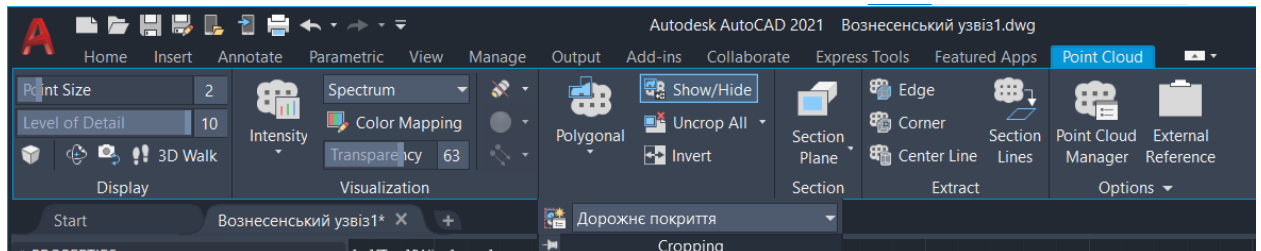


Рис.3.12. Панель інструментів для обрізання хмари в AutoCAD

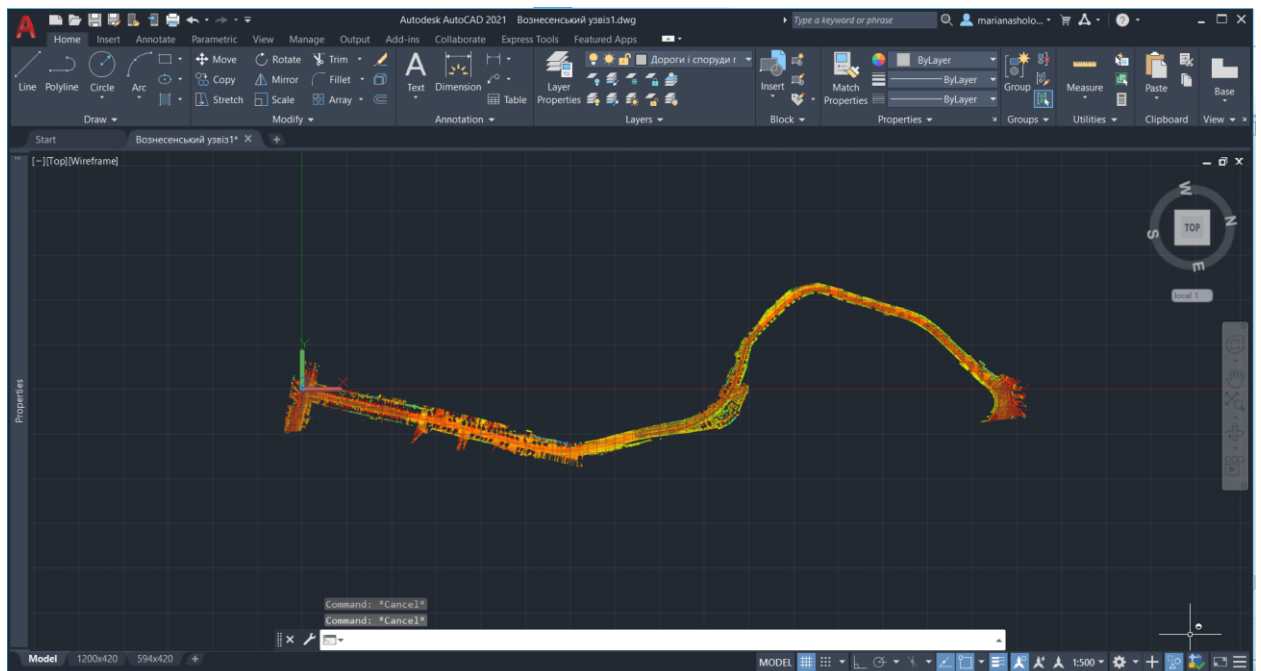


Рис.3.13. Результат обрізання хмари для об’єкта дорожнє покриття в AutoCAD

Наступний крок – створення шарів.

Потрібно створити всі шари зазначені у розділі 2. Для цього на вкладці Layers потрібно натиснути Layers Properties. У спливаючому вікні натиснути кнопку New Layer, вказати назву шару та параметри: колір лінії, ширина лінії згідно до визначених умовних позначень.

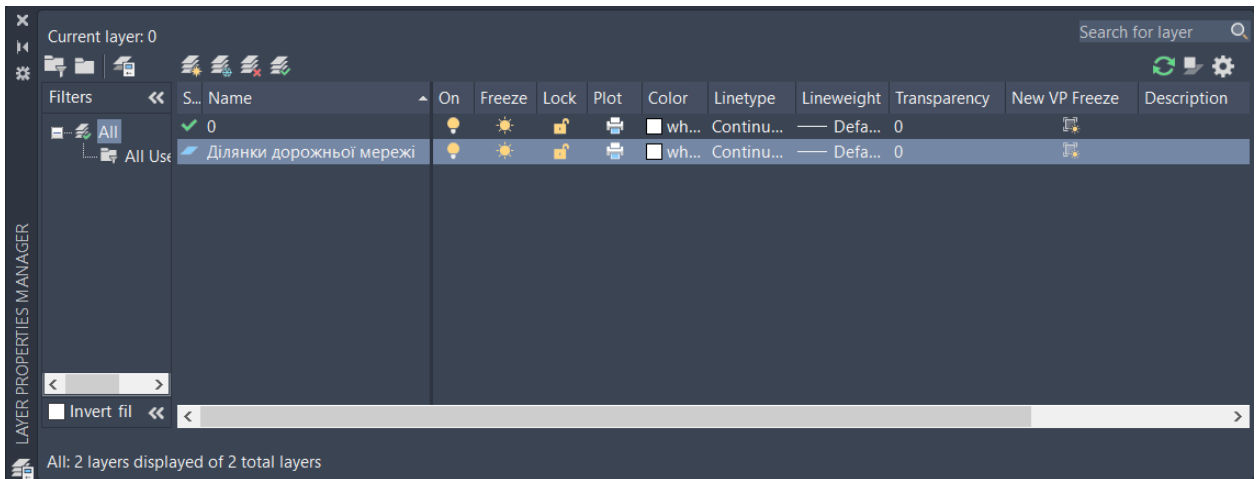


Рис.3.14. Вікно налаштування параметрів шару в AutoCAD

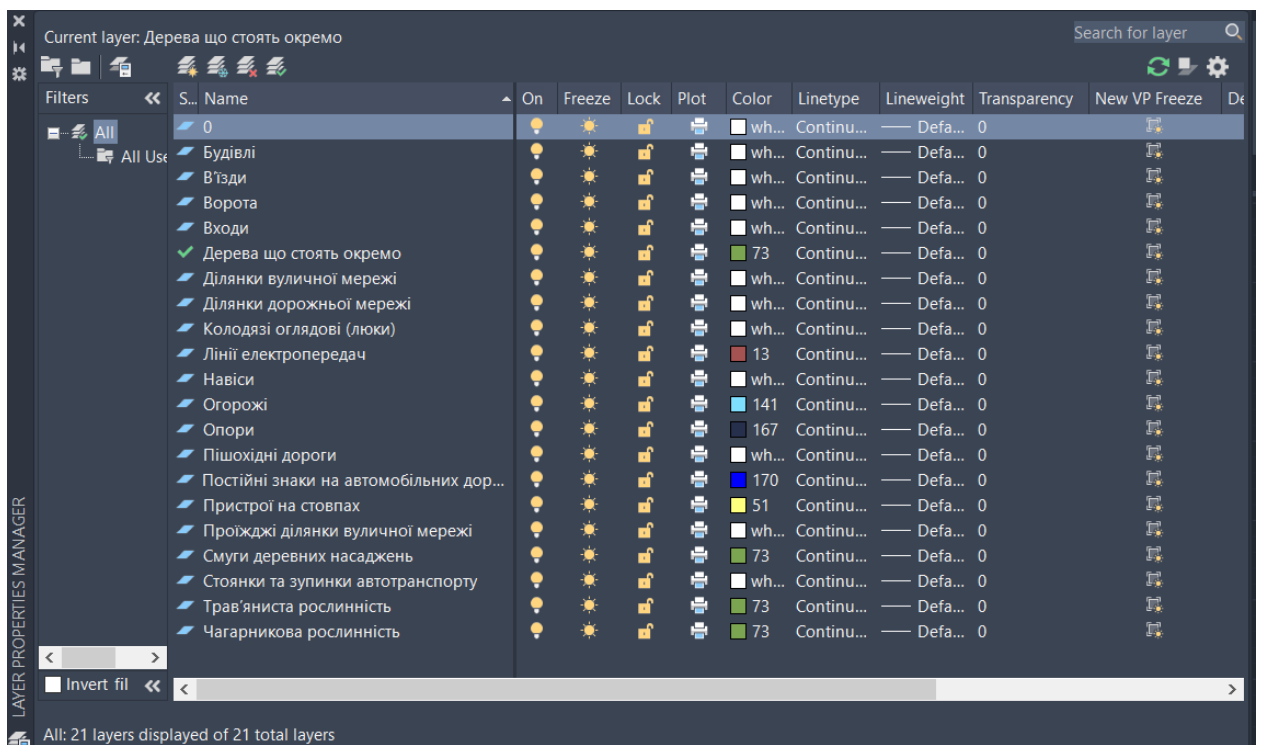


Рис.3.15. Створені шари в AutoCAD

Наступний етап – це створення умовних знаків. Згідно з документом «Умовні знаки для топографічних планів масштабів 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500» використовуючи параметри та панель Draw необхідно накреслити умовні позначення.

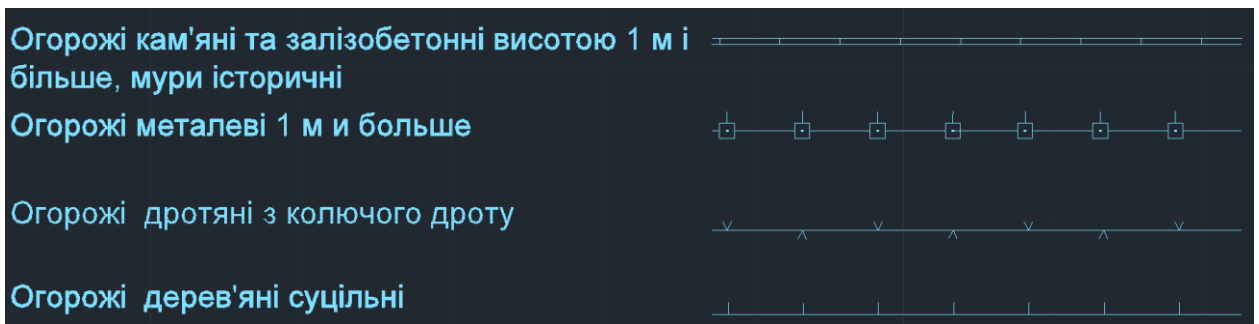


Рис.3.16. Умовні позначення огорожі створені в AutoCAD

Далі потрібно перейти до векторизації об'єктів. Використовуючи створені шари, умовні знаки, обрізані хмари точок та інструменти панелі Draw потрібно векторизувати всі об'єкти, які були отримані під час лазерного мобільного сканування. Для векторизації дорожнього покриття та люків дуже зручно використовувати вид візуалізації хмари точок – інтенсивність.

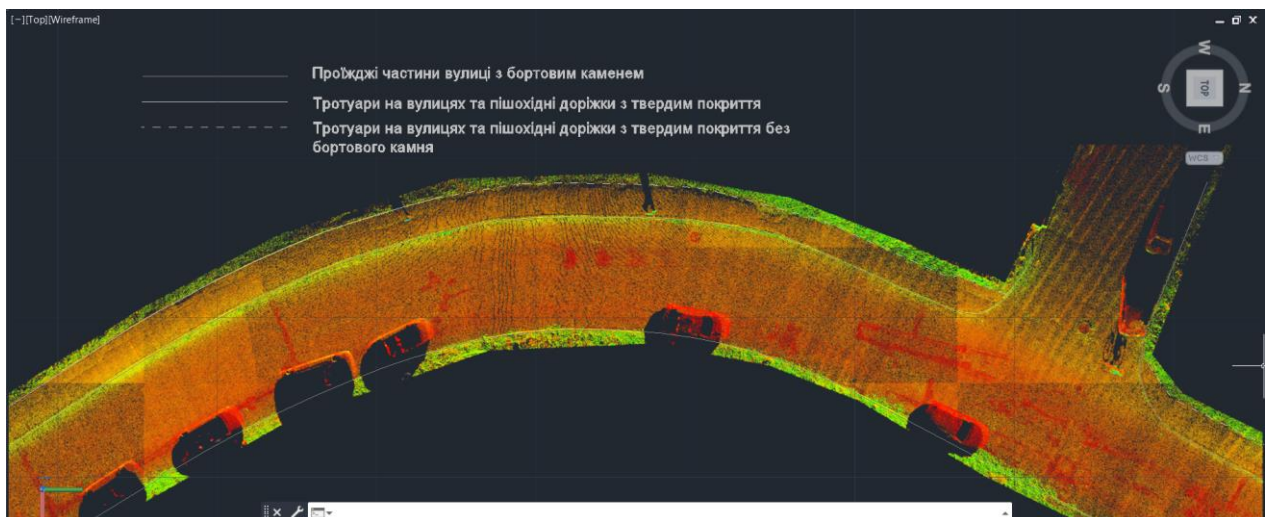


Рис.3.17. Проміжний результат векторизації дорожнього покриття



Рис.3.18. Векторизація люків, вид візуалізації хмари точок - інтенсивність

Для векторизації ЛЕП потрібно обрізати хмару точок якомога ближче до землі, щоб точно вказати місцезположення стовпа.

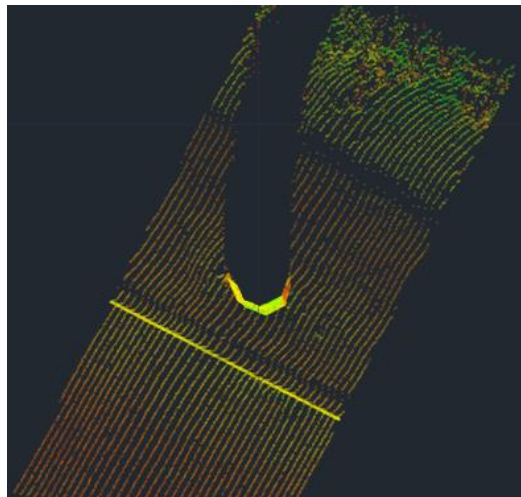


Рис.3.19. Обрізана хмара точок для векторизації стовпа

А для налаштування напрямку стрілок умовного знака ЛЕП потрібно використати панорамні фотографії, які отримали під час зйомки.



Рис.3.20 Зображення ЛЕП на панорамній фотографії



Рис.3.21. Результат векторизації стовпа ЛЕП та ліхтаря

Так як для різних видів огорож застосовуються різні умовні позначення, для їх ідентифікації потрібно також звертатись до панорамних фотографій.



Рис.3.22. Залізобетонна огорожа висотою більше 1 метра на панорамному фото

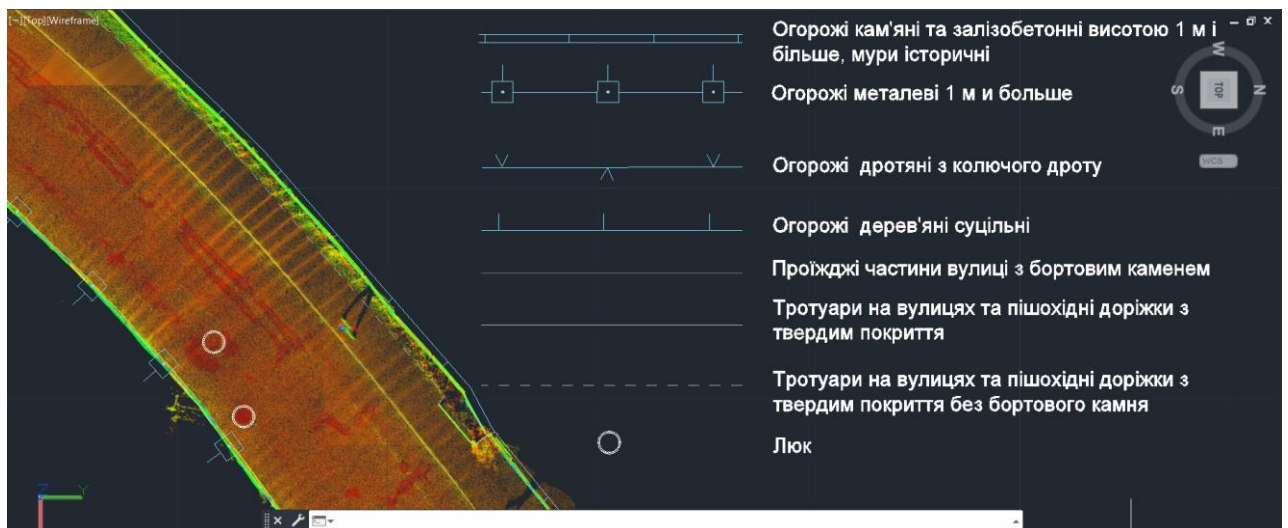


Рис.3.23. Зображення огорожі в AutoCAD

Таким чином оцифровано всі об'єкти, отримані під час мобільного лазерного сканування.

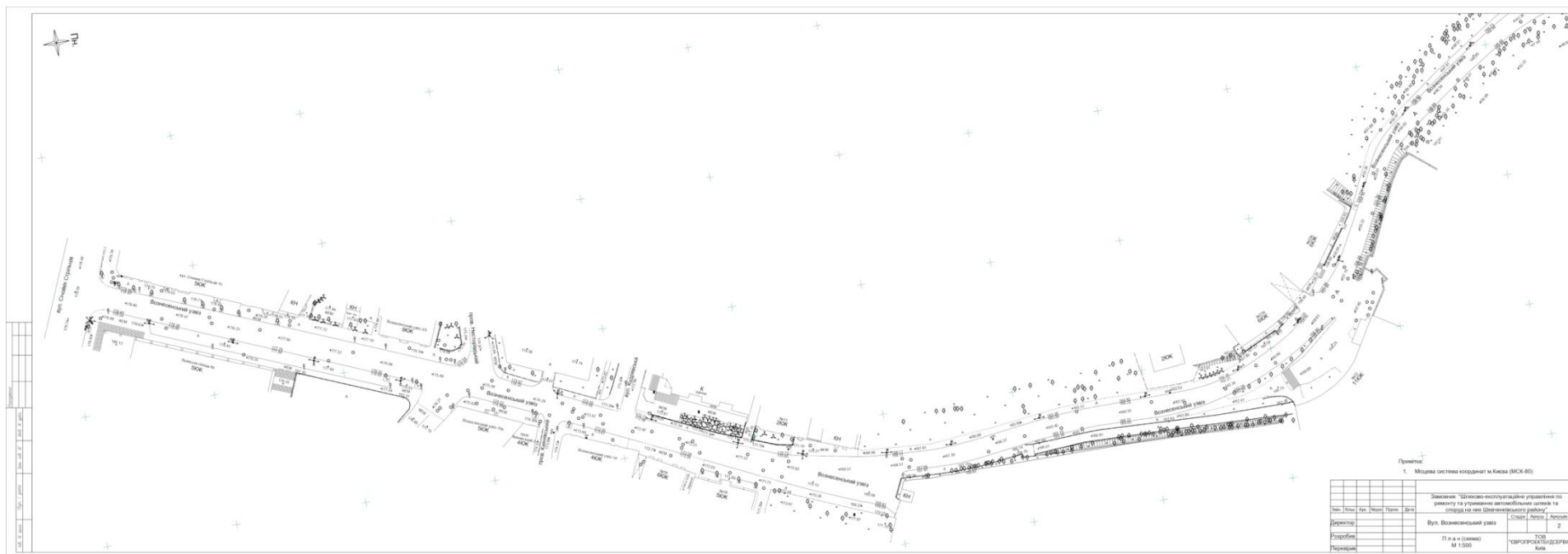


Рис.3.24. Загальний вигляд топографічного плану вулиці Вознесенський узвіз М1:500

Топографічний план вулиці Вознесенський узвіз М1:500 розміщено в Додатку А

### 3.3. Оцінка точності топографічного плану М1:500

Так як результатом моніторингу ВДМ в цій роботі є топографічний план М1:500, то проведення оцінки точності є обов'язковим.

Процедури оцінювання якості визначають порядок застосування одного або декілька методів оцінювання для певного елемента/піделемента якості даних. Для оцінювання якості карти необхідно визначити чи карта відповідає критерію картометричності [61]. Положеннями, викладеними у [59] та [63] визначено, що похибка планового положення точки не повинна перевищувати 0,2 мм в масштабі карти. 0,2 мм в масштабі карти 1:500 = 1м.

Для виконання цієї перевірки необхідно визначити планові еталонні координати трьох точок місцевості, визначити координати тих же трьох точок на карті, порівняти еталонні координати з координатами, виміряними на карті. Отримані похибки порівняти з граничним значенням. Якщо всі похибки менші від граничних, то карта має вимірні властивості для даного масштабу.

Оцінювання повноти даних ґрунтується на аналізі наявності чи відсутності об'єктів, їх атрибутів та відношень в наборі даних на основі порівняння ситуації, що відображена на карті з реальною ситуацією на місцевості.

Алгоритм проведення цієї оцінки такий:

1. Визначити кількість об'єктів шару на невеликій ділянці карти
2. Визначити реальну кількість об'єктів на тій самій території
3. Розрахувати кількість невідповідностей між картографічним матеріалом та реальною ситуацією
4. Визначити показник повноти даних  $R_i$  у % за формулою:

$$R_i = \frac{V}{N_{GM}} * 100\% , \quad (3.1)$$

де  $V$  – кількість невідповідностей між картографічним матеріалом та реальною ситуацією,  $N_{GM}$  – кількість об'єктів на місцевості

5. Розрахувати інтегральний показник повноти даних карти як добуток показників кожного шару за формулою:

$$R = \prod R_i \quad (3.2)$$

6. Зробити висновок, чи відповідає повнота карти дійсній ситуації.

Під час мобільного лазерного сканування всі об'єкти, які є в реальності, відображаються в хмарі точок, тому топографічний план, створений на основі даних цього методу зйомки території, повністю візуалізує дійсну ситуацію на місцевості.

Абсолютна чи зовнішня точність місцеположення об'єктів подає близькість значень координат значенням, прийнятим як правильні (порівняння з еталоном) та розраховується як похибка у взаємному положенні на забудованій території точок чітких контурів місцевості. Для відстаней до 100 метрів ця похибка не повинна перевищувати 0,3-0,5 мм в масштабі карти згідно з [4, 5]. Для масштабу 1:500 це дорівнює 1,5-2,5 м.

Оцінка точності взаємного положення на забудованій території точок чітких контурів місцевості на основі аналізу точності визначення відстаней виконується в такій послідовності:

1. Вимірюється три еталонні відстані між чіткими контурами місцевості (наприклад, кути будинків)  $d_{ie}$ . Відстані повинні бути близькими до 100 м.
2. На створеній карті вимірюються ті є самі відстані не менше, ніж 5 разів. Розраховується середнє значення для кожної відстані  $d_i$ .
3. Визначаються похибки вимірювань відстаней  $V_i$  та обчислюється середнє значення похибки взаємного положення точок  $V$ :

$$V_i = d_{ie} - d_i \quad (3.3)$$

$$V = \frac{V_i}{3} \quad (3.4)$$

4. Порівнюється отримана точність з граничною похибкою (1,5-2,5 м)

Якщо отримана точність менше або дорівнює граничній похибці, то точність взаємного положення точок чітких контурів місцевості задовільняється.

Іншою оцінкою точності місцеположення об'єктів є оцінка на основі середньої похибки визначення площ за наступним алгоритмом:

1. Визначається еталонні площі трьох об'єктів на місцевості  $S_{ie}$ .
2. Вимірюються площі тих же об'єктів на карті  $S_i$ .
3. Визначаються похибки визначення площі як різниці  $V_i = S_i - S_{ie}$
4. Розраховується значення похибки на одиницю площі за формулою:

$$V_{si} = \frac{V_i}{S_{ie}} \quad (3.5)$$

5. Розраховується середнє значення похибки на одиницю площі за формулою:

$$V_s = \frac{V_{si}}{3} \quad (3.6)$$

6. За допомогою порівняння отриманого значення з нормативним показником точності робиться висновок щодо точності місцеположення об'єктів.

Останнім видом оцінки точності місцеположення об'єктів, представленим в цій роботі, є оцінка точності на основі визначення похибки обчислення дирекційних напрямків. Ця перевірка виконується за наступним алгоритмом:

1. Вимірюються три еталонні азимути з однієї з однієї чіткої точки на місцевості на іншу (наприклад, кути будинку)  $\alpha_{ie}$
2. Вимірюються координати 6 відповідних точок  $X_i, Y_i$ .

3. Розв'язуються три ОГЗ та визначаються значення трьох дирекційних кутів  $\alpha_i$
4. Визначається значення похибок обчислення дирекційних кутів як різниця

$$V_i = \alpha_i - \alpha_{ie} \quad (3.7)$$

та середнє значення похибки визначення дирекційного кута:

$$V = \frac{V_i}{3} \quad (3.8)$$

5. За допомогою порівняння отриманого значення з нормативним показником робиться висновок щодо точності місцеположення об'єктів.

В роботі наведено методику проведення оцінки точності топографічного плану М1:500 згідно з [63], без обрахунку числових значень, так як за завданням замовник надав вже прив'язані скани дослідного об'єкта, тому вважаємо, що норми планової точності виконані.

## ВИСНОВКИ

В бакалаврській роботі був проведений моніторинг вулично-дорожньої мережі за даними мобільного лазерного сканування. Стан вулично-дорожньої мережі є надзвичайно важливим компонентом транспортної системи. Завдяки якісному та періодичному моніторингу доріг, можна досягти зменшення кількості дорожньо-транспортних пригод, заторів, оптимізувати побудову маршрутів, покращити рівень містобудівного планування.

Порівнюючи з іншими методами зйомки доріг, моніторинг на основі даних мобільного лазерного сканування є безпечним, швидким, ефективним, докладним та точним. Значною перевагою цього методу є непотрібність зупинок та обмеження руку на дорогах. Дані, отримані в результаті мобільного лазерного сканування – це хмара точок, кількість яких дуже велика (сотні мільйонів точок), а відстань між ними – міліметрова, що означає, що ці дані точно та докладно візуалізують реальну ситуацію на місцевості. Це дає можливість створити якісний план, який задовільняє критерії точності.

В розділі 1 цієї роботи було проведемо ознайомлення з тематикою роботи, наведені визначення основних термінів, обґрунтовано вибір нормативно-правового забезпечення, а також проведений аналіз досвіду ведення моніторингу вулично-дорожньої мережі в світі та в Україні.

В розділі 2 наведена методика моніторингу, а саме етапи проведення, показники моніторингу, створена логічна модель БГД. Також представлена детальна технологія реалізації геоінформаційного моніторингу вулично-дорожньої мережі за даними мобільного лазерного сканування.

В розділі 3 був наведений опис дослідної території та вхідних даних, показана практична реалізація моніторингу, в процесі якого був створений топографічний план М1:500 вулиці Вознесенський узвіз. Також в цьому розділі представлена методика оцінки точності топографічного плану.

Так як результатом моніторингу є топографічний план М1:500, який задовольняє всім критеріям оцінки точності, це означає, що в даній роботі була підтверджена ефективність та актуальність використання мобільного лазерного сканування для моніторингу стану вулично-дорожньої мережі.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Про благоустрій населених пунктів: Закон України від 06.09.2005 № 2807- IV [Електронний ресурс]. — Режим доступу:  
<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2807-15#Text>
2. ДБН В.2.3-5:2018 Вулиці та дороги населених пунктів. Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарство України: чинний з 24.04.2018 [Електронний ресурс]. — Режим доступу:  
[http://kbu.org.ua/assets/app/documents/75\(1\).1.%20%D0%94%D0%91%D0%9D%20%D0%92.2.3-5-2018%20%D0%92%D0%A3%D0%9B%D0%98%D0%A6%D0%86%20%D0%A2%D0%90%20%D0%94%D0%9E%D0%A0%D0%9E%D0%93%D0%98.pdf](http://kbu.org.ua/assets/app/documents/75(1).1.%20%D0%94%D0%91%D0%9D%20%D0%92.2.3-5-2018%20%D0%92%D0%A3%D0%9B%D0%98%D0%A6%D0%86%20%D0%A2%D0%90%20%D0%94%D0%9E%D0%A0%D0%9E%D0%93%D0%98.pdf)
3. Інформаційні технології автоматизації обробки параметрів геоінформаційних систем з геометричними мережами: монографія / В. Б. Мокін, В. Г. Сторчак, Є. М. Крижановський, О. В. Гавенко, В. Ю. Балачук. — Вінниця : ВНТУ, 2014. — С. 7 – 12 [Електронний ресурс]. — Режим доступу:  
[https://www.researchgate.net/publication/281490197\\_Information\\_technologies\\_auto\\_mate\\_the\\_processing\\_parameters\\_of\\_geoinformation\\_systems\\_with\\_geometric\\_networks](https://www.researchgate.net/publication/281490197_Information_technologies_auto_mate_the_processing_parameters_of_geoinformation_systems_with_geometric_networks)
4. Шипулін В.Д. Основні принципи геоінформаційних систем: навчальний посібник / В.Д. Шипулін; Харк. нац. акад. міськ. госп-ва. — Х.: ХНАМГ, 2010. — С. 27 – 85 [Електронний ресурс]. — Режим доступу:  
<https://core.ac.uk/download/pdf/11325366.pdf>
5. Гудков І.М. Радіоекологічний моніторинг: навчальний посібник / Гудков І.М., Кашпаров В.О., Паренюк О.Ю.; Київ, 2018. — С. 8 – 9 [Електронний ресурс]. — Режим доступу:

[https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/\\_Public/52/048/52048850.pdf](https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/52/048/52048850.pdf)

6. Road network operations and intelligent transport systems. PIARC (world road association) guide. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://rno-its.piarc.org/en/network-monitoring>

7. Про автомобільні дороги: Закон України від 08.09.2005 № 51. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2862-15#Text>

8. Про дорожній рух: Закон України 30.06.1993 № 31. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: (<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3353-12#Text>)

9. Про затвердження Порядку проведення містобудівного моніторингу: Наказ Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України від 01.09.2011 № 170 [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1268-11#Text>

10. Про затвердження Технічних правил ремонту і утримання вулиць та доріг населених пунктів: Наказ Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України від 14.02.2012 № 54 [Електронний ресурс]. — Режим доступу:

<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0365-12#Text>

11. Про затвердження галузевого стандарту України: Наказ Міністерства транспорту України «Про затвердження галузевого стандарту України» від 29.11.2001 № 839. [Електронний ресурс]. — Режим доступу:

(<https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0839361-01#Text> )

12. Про затвердження Інструкції з топографічного знімання у масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 та 1:500: Головного управління геодезії, картографії та кадастру при Кабінеті Міністрів від 23.06.1998 р. № 56 [Електронний ресурс]. — Режим доступу:

<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0393-98#Text>

13. ДБН В.2.3-4:2015. Споруди транспорту. Автомобільні дороги. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво. - Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарство України: чинний від 01.04.2016 [Електронний ресурс]. — Режим доступу:

<http://kbu.org.ua/assets/app/documents/dbn2/74.1.%20%D0%94%D0%91%D0%9D%20%D0%92.2.3-4~2015.%20%D0%90%D0%B2%D1%82%D0%BE%D0%BC%D0%BE%D0%B1%D1%96%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D1%96%20%D0%B4%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%B3%D0%B8..pdf>

14. ДСТУ 3587–97. Автомобільні дороги, вулиці та залізничні переїзди Вимоги до експлуатаційного стану: чинний від 31.06.1997. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://ukryama.com/files/DSTU3587-97UA.pdf>

15. ДСТУ 8747:2017. Автомобільні дороги. Види та переліки робіт з ремонтів та експлуатаційного утримання: чинний від 20.12.2017. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: [http://uas.org.ua/wp-content/uploads/2021/03/dstu\\_8747\\_2017.pdf](http://uas.org.ua/wp-content/uploads/2021/03/dstu_8747_2017.pdf)

16. ДСТУ 4092-2002. Безпека дорожнього руху. Світлофори дорожні. Загальні технічні вимоги, правила застосовування та вимоги безпеки: чинний від 01.01.2003. [Електронний ресурс]. — Режим доступу:

<https://litoblock.com.ua/wp-content/uploads/2018/08/%D0%93%D0%9E%D0%A1%D0%A2-%D0%94%D0%A1%D0%A2%D0%A3-4092-2002.pdf>

17. ДСТУ 2587:2010. Безпека дорожнього руху. Розмітка дорожня. Загальні технічні умови: чинний від 11.02.2021. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: [http://pdd.com.ua/r/5/f/doc/DSTU\\_2587-2010.pdf](http://pdd.com.ua/r/5/f/doc/DSTU_2587-2010.pdf)

18. ГБН В.2.3-218-007-2012. Екологічні вимоги до автомобільних доріг. Проектування: чинний від 06.08.2012. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://kbu.org.ua/assets/app/documents/dbn2/122.1..pdf>

19. ISO 8608:2016. Механічна вібрація. Профілі дорожнього покриття. Подання вимірних даних. 2016. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.iso.org/standard/71202.html>
20. ISO 39001. Система менеджменту безпеки дорожнього руху. Вимоги з інструкцією щодо використання: чинний від 01.10.2012. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.iso.org/standard/44958.html>
21. IS EN 1436. Європейський стандарт для дорожньої розмітки: чинний від 17.01.2018. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.biaoxian.org.cn/uploadfile/2020/0527/20200527111655684.pdf>
22. Qiuyang Huang. Citywide road-network traffic monitoring using large-scale mobile signaling data / Qiuyang Huang, Yongjian Yang, Yuanbo Xu, Funing Yang, Zhilu Yuan, Yongxiong Sun; Elsevier, 2021. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://sci-hub.se/https://doi.org/10.1016/j.neucom.2020.07.150>
23. W. Shi, Yu. Liu, Real-time monitoring of city traffic with global positioning vehicles equipped with the IET Intelll system. transp. Syst. 4 (2) (2010) 113-120
24. R. Du, K. Chen, B. Yang, N. Lu, X. Guan, X. Shen, Efficient Urban Traffic Monitoring with Automotive Sensor Networks, IEEE Trans. Milestones Technol. 64 (1) (2015) 273-286
25. Yongjian Yang, Xu. Yuanbo, Jiayu Han, En Wang, Weitong Chen, Lin Yue, Efficient traffic congestion estimation using multiple spatio-temporal properties, Neurocomputing 267 (2017) 344–353.
26. Bailin Yang, Shulin Sun, Jianyuan Li, Xianxuan Lin, Yan Tian, Traffic flow prediction using lstm with feature enhancement, Neurocomputing 332 (2019) 320–327.
27. E. Necula, Dynamic traffic flow prediction based on gps data, Nov 2014..

28. P. Rathore, D. Kumar, S. Rajasegarar, M. Palaniswami, J.C. Bezdek, A scalable framework for trajectory prediction, *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.* 20 (10) (2019) 3860–3874.
29. K. Tang, S. Chen, Z. Liu, Citywide spatial-temporal travel time estimation using big and sparse trajectories, *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.* 19 (12) (2018) 4023–4034.
30. T. Hunter, P. Abbeel, A. Bayen, The path inference filter: model-based lowlatency map matching of probe vehicle data, *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.* 15 (2) (2014) 507–529.
31. Y. Gong, E. Chen, X. Zhang, L.M. Ni, J. Zhang, Antmapper: an ant colony-based map matching approach for trajectory-based applications, *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.* 19 (2) (2018) 390–401.
32. Yin Lou, Chengyang Zhang, Yu Zheng, Xing Xie, Wei Wang, Yan Huang, Mapmatching for low-sampling-rate gps trajectories, 2009..
33. E. D’Andrea, P. Ducange, B. Lazzerini, F. Marcelloni, Real-time detection of traffic from twitter stream analysis, *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.* 16 (4) (2015) 2269–2283.
34. D. Cerotti, S. Distefano, G. Merlino, A. Puliafito, A crowd-cooperative approach for intelligent transportation systems, *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.* 18 (6) (2017) 1529–1539.
35. P. Barsocchi, P. Cassara, F. Mavilia, D. Pellegrini, Sensing a city’s state of health: structural monitoring system by internet-of-things wireless sensing devices, *IEEE Consumer Electron. Mag.* 7 (2) (2018) 22–31.
36. P. Szyman’ ski, M. \_ Zołnieruk, P. Oleszczyk, I. Gisterek, T. Kajdanowicz, Spatiotemporal profiling of public transport delays based on large-scale vehicle

positioning data from gps in wrocław, IEEE Trans. Intell. Transp. Syst. 19 (11) (2018) 3652–3661.

37. S.S.M. Ali, B. George, L. Vanajakshi, Mutually coupled multiple inductive loop system suitable for heterogeneous traffic, IET Intell. Transp. Syst. 8 (5) (2014) 470–478.

38. A. Abadi, T. Rajabioun, P.A. Ioannou, Traffic flow prediction for road transportation networks with limited traffic data, IEEE Trans. Intell. Transp. Syst. 16 (2) (2015) 653–662.

40. Qiuyang Huang, Yongjian Yang, Zhilu Yuan, Hongfei Jia, Liping Huang, Zhanwei Du, The temporal geographically-explicit network of public transport in Changchun city, Northeast China, Sci. Data 6 (1) (2019) 190026.

41. K. Zheng, E. Yao, J. Zhang, Y. Zhang, Traffic flow estimation on the expressway network using toll ticket data, IET Intell. Transp. Syst. 13 (5) (2019) 886–895.

42. R. Du, P. Santi, M. Xiao, A.V. Vasilakos, C. Fischione, The sensible city: a survey on the deployment and management for smart city monitoring, IEEE Commun. Surveys Tutorials 21 (2) (2019) 1533–1560.

43. A. Lesani, L. Miranda-Moreno, Development and testing of a real-time wifiblueooth system for pedestrian network monitoring, classification, and data extrapolation, IEEE Trans. Intell. Transp. Syst. 20 (4) (2019) 1484–1496.

44. R. Zhang, S. Newman, M. Ortolani, S. Silvestri, A network tomography approach for traffic monitoring in smart cities, IEEE Trans. Intell. Transp. Syst. 19 (7) (2018) 2268–2278.

45. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://sensorline.de/road-traffic/road-traffic-applications#vehicle-classification>

46. Веб – сайт Leica Geosystems. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [https://ngc.com.ua/ua/info/hds\\_roads.html](https://ngc.com.ua/ua/info/hds_roads.html)

47. Веб-сайт університету ХНАДУ [Електронний ресурс]. — Режим доступу:

<https://www.khadi.kharkov.ua/science/naukovi-rozrobki/>

48. Mario Soilán. Review of Laser Scanning Technologies and Their Applications for Road and Railway Infrastructure Monitoring / Soilán, Sánchez-Rodríguez, Río-Barral, Perez-Collazo, Arias, & Riveiro; Infrastructures, 2019. [Електронний ресурс]. — Режим доступу:

<https://sci-hub.se/http://dx.doi.org/10.3390/infrastructures4040058>

49. Cabo, C.; Kukko, A.; García-Cortés, S.; Kaartinen, H.; Hyypä, J.; Ordoñez, C. An algorithm for automatic road asphalt edge delineation from mobile laser scanner data using the line clouds concept. *Remote Sens.* 2016, 8, 740.

50. Soilán, M.; Riveiro, B.; Martínez-Sánchez, J.; Arias, P. Segmentation and classification of road markings using MLS data. *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.* 2017, 123, 94–103.

51. Wen, C.; Sun, X.; Li, J.; Wang, C.; Guo, Y.; Habib, A. A deep learning framework for road marking extraction, classification and completion from mobile laser scanning point clouds. *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.* 2019, 147, 178–192.

52. Ai, C.; Tsai, Y.J. An automated sign retroreflectivity condition evaluation methodology using mobile LIDAR and computer vision. *Transp. Res. Part C Emerg. Technol.* 2016, 63, 96–113.

53. Riveiro, B.; Diaz-Vilariño, L.; Conde, B.; Soilán, M.; Arias, P. Automatic Segmentation and Shape-Based Classification of Retro-Reflective Traffic Signs from Mobile LiDAR Data. *IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Obs. Remote Sens.* 2016, 9, 295–303.

54. ДСТУ ISO/IEC 2382-17:2005. Інформаційні технології. Словник термінів. Частина 17. Бази даних (ISO/IEC 2382-17:1999, IDT): чинний від 01.08.2007.

55. Мамонов К. А. Системи мобільного лазерного сканування в геоінформаційних технологіях / К. А. Мамонов, К. І. Вяткін, С. Г. Нестеренко // Комунальне господарство міст. Серія : Технічні науки та архітектура. - 2016. - Вип. 132. - С. 121-126. [Електронний ресурс]. — Режим доступу:

<https://khg.kname.edu.ua/index.php/khg/article/download/4922/4879/>

56. [Електронний ресурс]. — Режим доступу:

(<https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-predvaritelnoy-obrabotki-dannyh-mobilnogo-lazernogo-skanirovaniya/viewer> )

57. Cabo, C. An algorithm for automatic detection of pole-like street furniture objects from Mobile Laser Scanner point clouds / Cabo, C., Ordoñez, C., García-Cortés, S., & Martínez; ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 87, 2014. [Електронний ресурс]. — Режим доступу:

<https://sci-hub.se/https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2013.10.008>

58. Веб-сайт підтримки на навчання AutoDesk. [Електронний ресурс]. — Режим доступу:

<https://knowledge.autodesk.com/ru/support/autocad/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2018/RUS/AutoCAD-Core/files/GUID-75EBFA48-CB7E-4E91-A1BB-167D96A7119F-htm.html>

59. Основні положення створення топографічних планів масштабів 1:5000, 1:2000, 1:1000 та 1:500. Затверджені наказом Головного управління геодезії, картографії та кадастру при Кабінеті Міністрів України №3 від 24.01.94р. [Електронний ресурс]. — Режим доступу:

<http://www.geoguide.com.ua/basisdoc/basisdoc.php?part=tgo&art=3101>

60. [Електронний ресурс]. — Режим доступу:

[https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%BE%D0%B7%D0%BD%D0%B5%D1%81%D0%B5%D0%BD%D1%81%D1%8C%D0%BA%D0%B8%D0%B9\\_%D1%83%D0%B7%D0%B2%D1%96%D0%B7](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%BE%D0%B7%D0%BD%D0%B5%D1%81%D0%B5%D0%BD%D1%81%D1%8C%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D1%83%D0%B7%D0%B2%D1%96%D0%B7)

61. Карты цифровые. Методы оценки качества данных. Общие требования. ОСТ 68-3.4.2-03. — М.: РИО ВТС. — 2003.

62. Перович Л.М., Волосецкий Б.І. Основи кадастру. Частина 1. — Львів Коломия, 2000. — 128с. [104-112].

63. Гокровчук Ю.В. Методичні вказівки до виконання курсової роботи «Оцінка якості цифрової карти» для студентів IV курсу, які навчаються за напрямом підготовки 193 «Геодезія та землеустрій» - Київ, 2019.

## ДОДАТКИ

# Додаток А.1. Топографічний план М1:500 вулиці Вознесенський узвіз





## Додаток Б. Графічні матеріали



Київський національний університет будівництва і архітектури  
Кафедра геоінформатики і фотограмметрії



### *ГІС моніторинг вулично-дорожньої мережі за даними мобільного лазерного сканування*

студентка групи ГІСТ-41  
Шолохова Мар'яна Сергіївна

Керівник: доц. Горковчук Ю.В.

Київ – 2022 р.

# Мета роботи

**Метою роботи** є проведення моніторингу вулиці Вознесенський узвіз за даними мобільного лазерного сканування, **результатом** якого є топографічний план М1:500

**Об'єктом дослідження** є моніторинг, **предмет дослідження** – стан вулично-дорожньої мережі.

**Геоінформаційний моніторинг** – це технологія та автоматизована система планування й проведення моніторингу на основі інтегрування даних з різних джерел, моделювання, оцінювання та прогнозування стану об'єктів моніторингу в середовищі геоінформаційних систем із застосуванням баз геопросторових даних і баз знань.

# Елементи вулично-дорожньої мережі

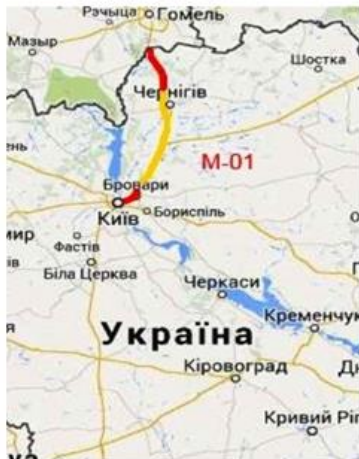
**Вулично-дорожня мережа** призначена для руху транспортних засобів і пішоходів мережа вулиць, доріг, внутрішньоквартальні та інші проїзди, тротуари, пішохідні та велосипедні доріжки, набережні, майдани, площі, а також автомобільні стоянки та майданчики для паркування транспортних засобів з інженерними та допоміжними спорудами, технічними засобами організації дорожнього руху





# Лазерне сканування доріг в Україні

Лазерний сканер визначає координати всіх точок в межах радіусу своєї дії. Крім координат, у кожній точці фіксується інформація про реальний колір та інтенсивність відображення.



**Сканування ділянки кільцевої траси М-01** - Як кінцевий результат був представлений набір профілів з кроком 20 м в форматі DXF і креслення «План цифрової моделі покриття дороги» М 1:1000.



Система відеодіагностики



Система відеосканування дорожніх покриттів



Лазерна вимірювальна система

**Метод лазерного сканування має низку переваг:**

- незалежність від трафіку;
- можливість безпечного виконання зйомки на ділянках з високим трафіком;
- можливість роботи у нічний час;
- висока швидкість сканування виконання робіт);
- точність сканування  $\pm 4$  мм.

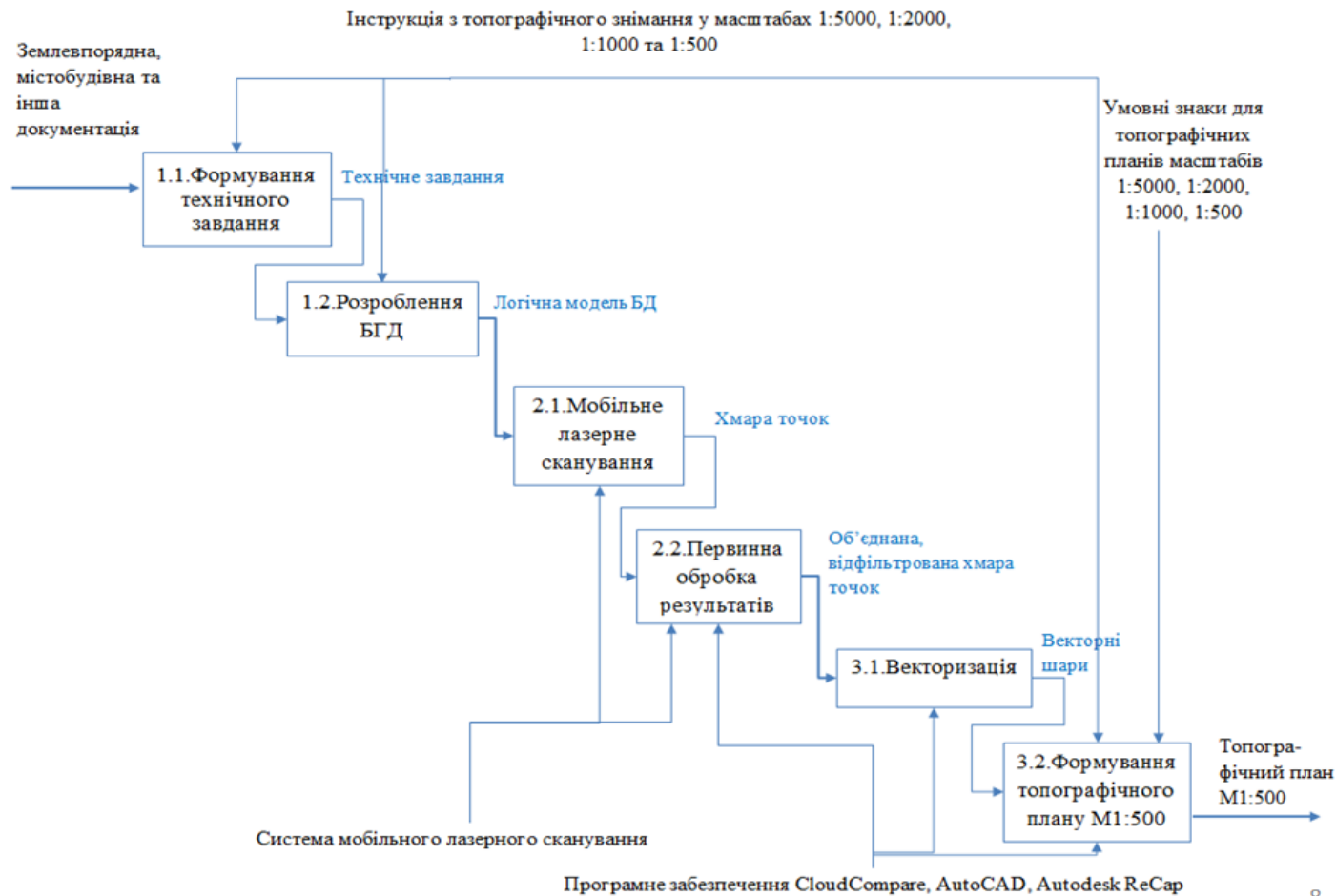
## Показники моніторингу дорожнього покриття та позашляхової поверхні

Складові моніторингу	Елементи ВДМ	Показники моніторингу
<b>Моніторинг дорожнього покриття</b>	моніторинг дорожньої розмітки	Геометрія, вид, кількість, стан
	моніторинг люків	Геометрія, вид, кількість, стан
<b>Моніторинг <u>позашляхової</u> поверхні</b>	моніторинг системи технічних засобів регулювання дорожнього руху	Геометрія, вид, кількість
	моніторинг ліній електропередач	Геометрія, вид, кількість
	моніторинг системи вуличного освітлення	Геометрія, вид, кількість
	моніторинг стану зелених насаджень	Геометрія, вид, кількість

# Технологія реалізації геоінформаційного моніторингу ВДМ за даними мобільного лазерного сканування

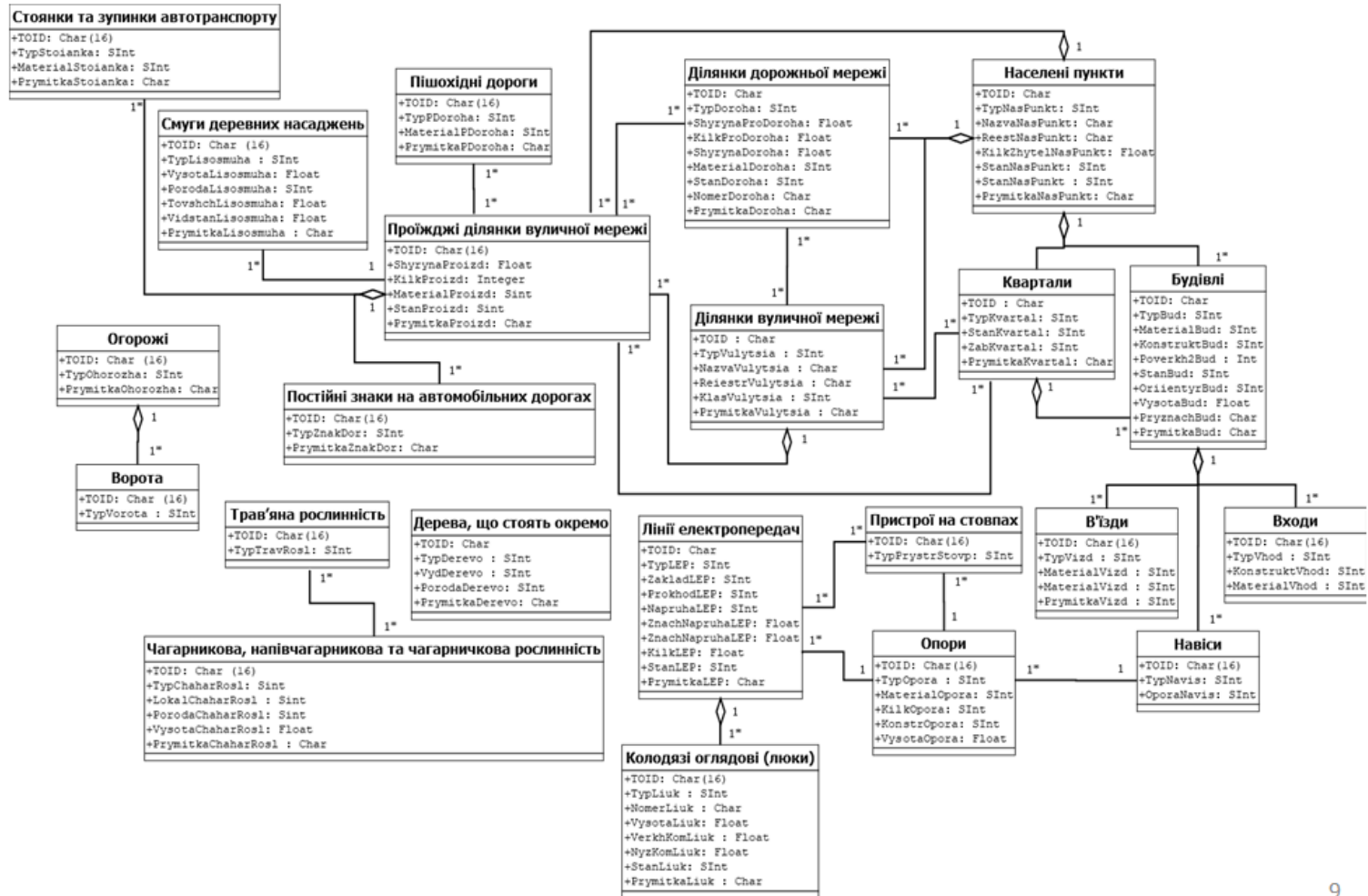


# Технологія реалізації геоінформаційного моніторингу ВДМ за даними мобільного лазерного сканування



8

# Логічна модель БД



## Опис дослідної території

Дослідний об'єкт - **вулиця Вознесенський узвіз**, яка знаходиться в столиці України – місті Київ. Протяжність вулиці – 865 м. Чітко поділяється на дві частини: порівняно рівну вулицю від нинішньої вулиці Січових Стрільців до Академії мистецтв України та стрімкий узвіз із тисними садибами й невисокою забудовою. Рух по вулиці Вознесенський узвіз односторонній, дорожнє покриття – асфальт.

## Вхідні дані

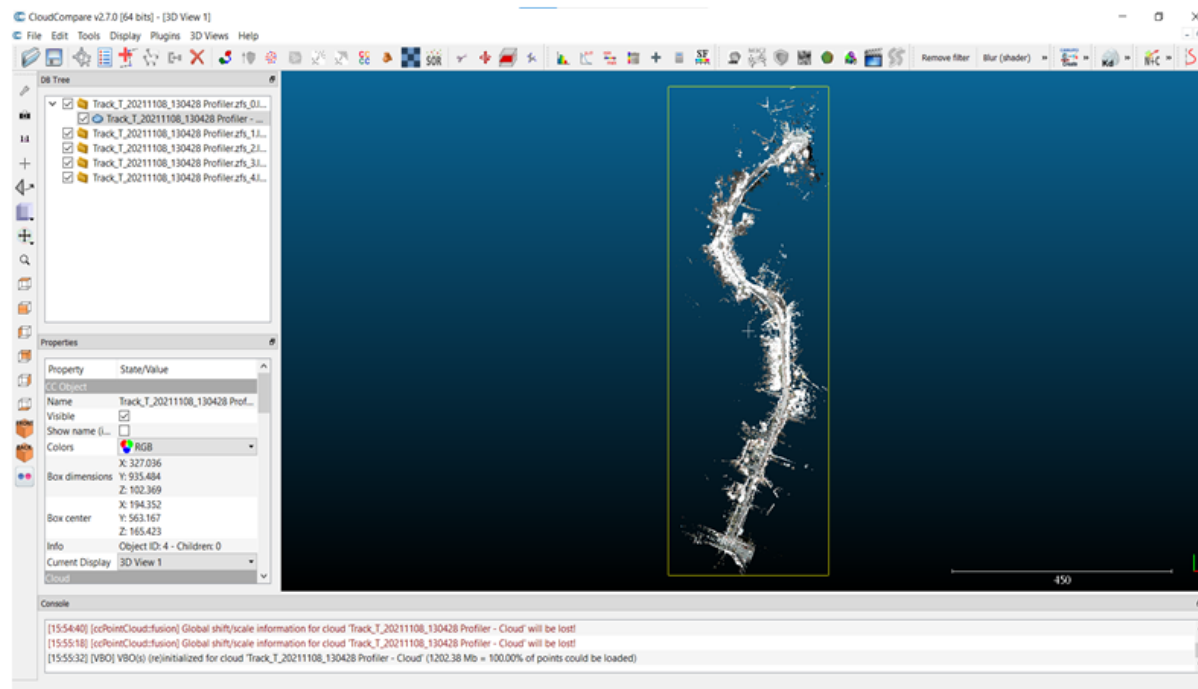
Під час зйомки було отримано 5 сканів, тобто 5 хмар точок. Загальна кількість точок, отриманих під час мобільного лазерного сканування – 84 052 496, відстань між якимим 5 мм.

Також під час зйомки були отримані 340 панорамних фотографій, які покривають всю довжину вулиці.

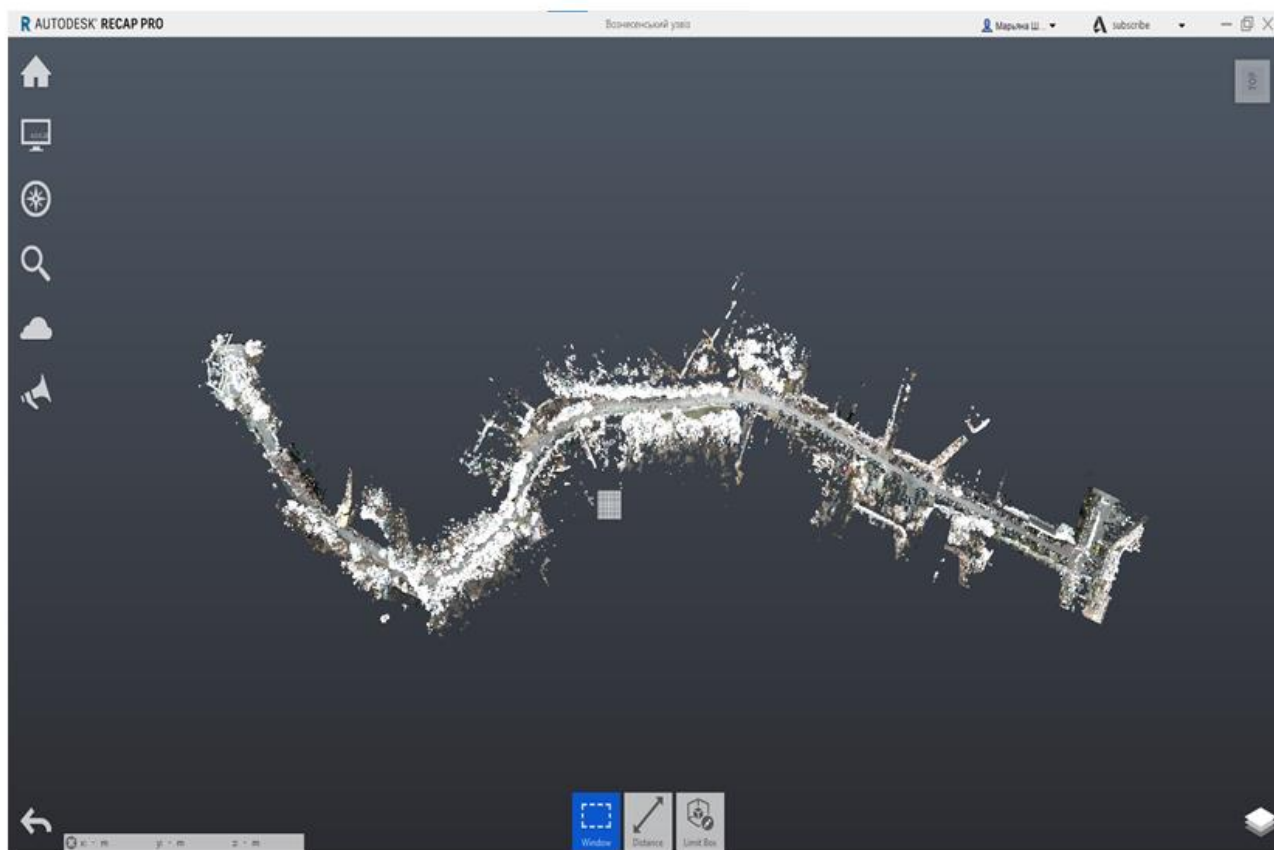
# Первинна обробка даних мобільного лазерного сканування

До первинної обробки входить зшивка (реєстрація хмар точок) та фільтрація.

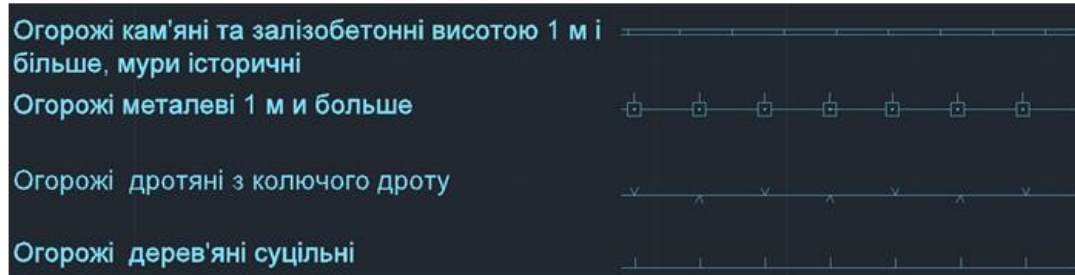
## Зшивка хмар точок в програмному забезпеченні CloudCompare



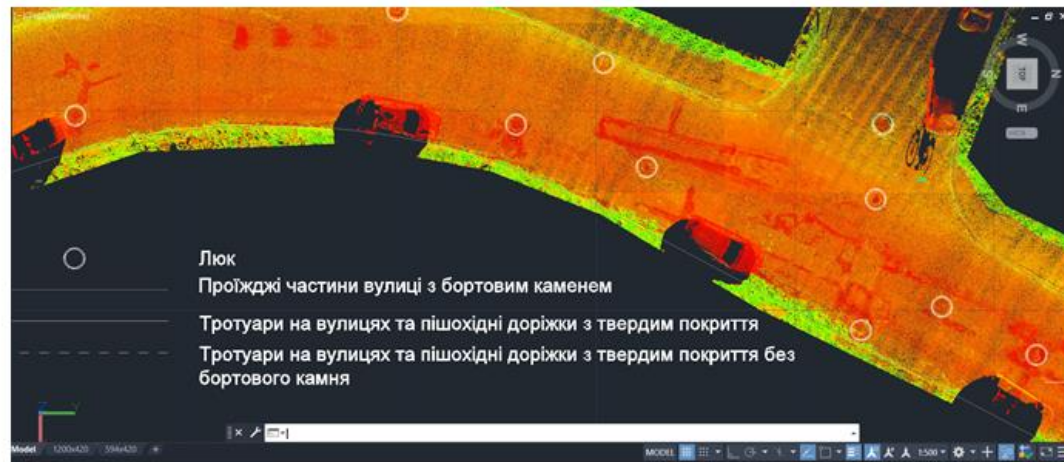
# Фільтрація об'єднаної хмари точок в ReCap



# Процес векторизації

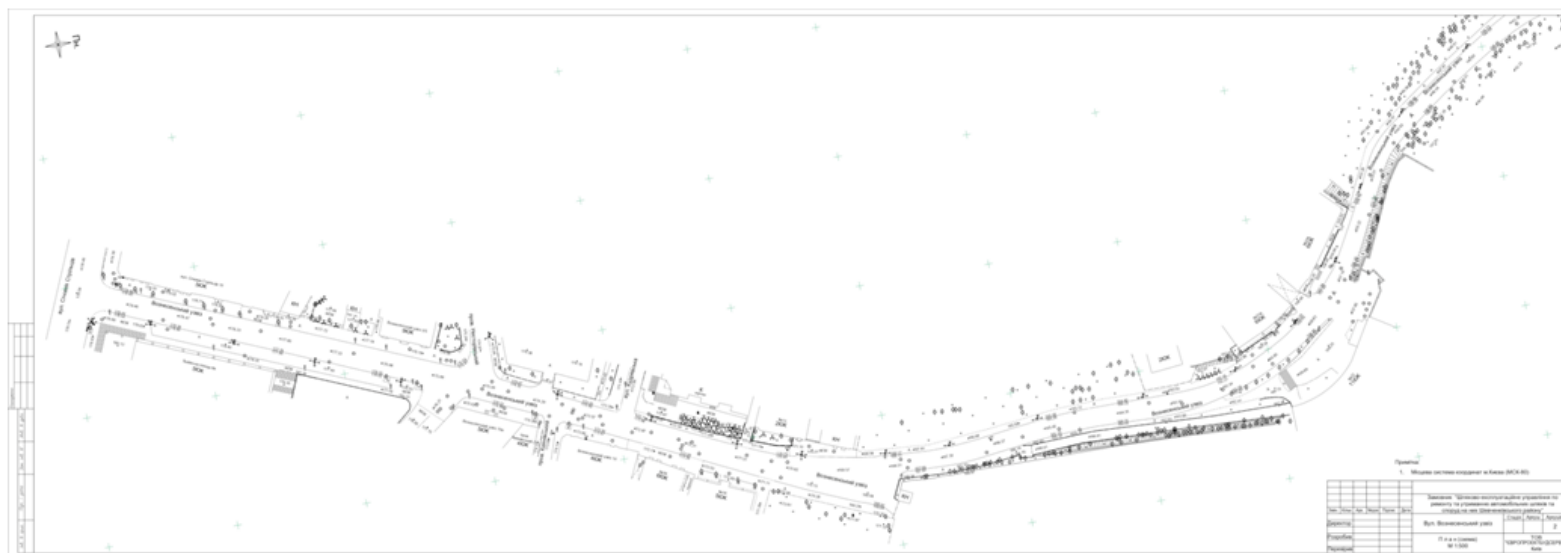


## Створення умовних позначень

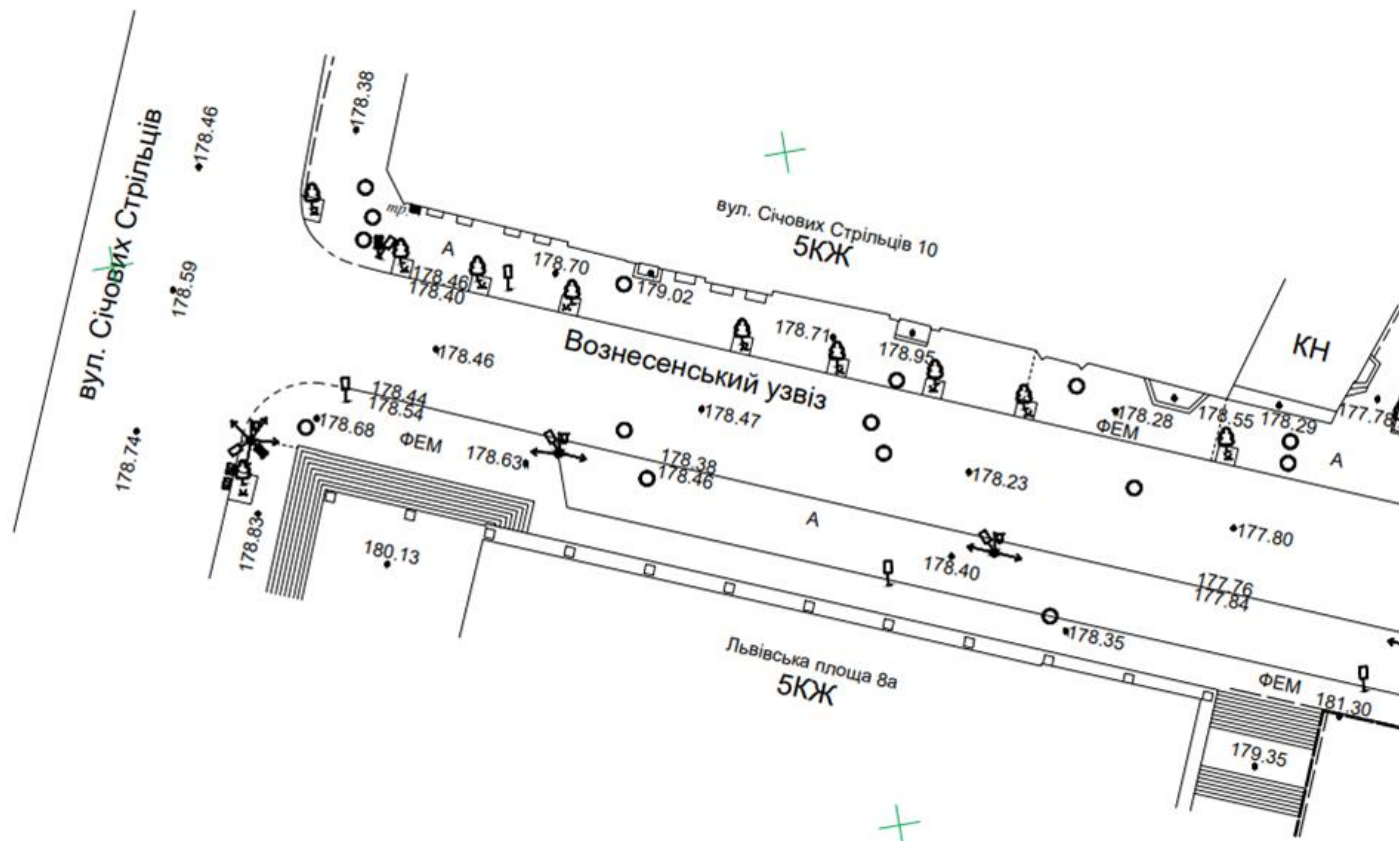


## Векторизація дорожнього покриття, люків

# Топографічний план вулиці Вознесенський узвіз М1:500



# Фрагмент топографічного плану



# Оцінка точності топографічного плану М1:500

Оцінка точності топографічного плану включає:

1. Оцінка картометричності;
2. Оцінка повноти даних;
3. Оцінка точності взаємного положення точок чітких контурів місцевості;

В роботі наведено методику проведення оцінки точності топографічного плану М1:500 без обрахунку числових значень, так як за завданням замовник надав вже прив'язані скани дослідного об'єкта, тому вважаємо, що норми планової точності виконані.

## Висновки

Завдяки якісному та періодичному моніторингу доріг, можна досягти зменшення кількості дорожньо-транспортних пригод, заторів, оптимізувати побудову маршрутів, покращити рівень містобудівного планування.

Порівнюючи з іншими методами зйомки доріг, моніторинг на основі даних мобільного лазерного сканування є безпечним, швидким, ефективним, докладним та точним. Значною перевагою цього методу є непотрібність зупинок та обмеження руку на дорогах.

Результатом моніторингу є топографічний план М1:500, що відображає стан вулично-дорожньої мережі та є основою при проектуванні і ремонті автомобільних трас, реконструкції та будівництві елементів ВДМ.

Регулярне проведення виконавчих знімань методом мобільного лазерного сканування забезпечить якісний моніторинг дорожніх розв'язок та регулярне оновлювання просторової інформації.