

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**

Факультет геоінформаційних систем та управління територіями
(факультет)

Кафедра геоінформатики і фотограмметрії
(назва кафедри)

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО АТЕСТАЦІЙНОЇ ВИПУСКНОЇ РОБОТИ
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ БАКАЛАВРА**

на тему:

«Проект класифікації точок лазерного сканування населеного пункту в
Федеративній Республіці Німеччини»

Рильник Станіслав Володимирович
(прізвище, ім'я, по батькові студента повністю)

Київ 2024 р.

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ

Інститут, факультет Геоінформаційних систем і управління територіями
Кафедра Геоінформатики і фотограмметрії
Освітньо-кваліфікаційний рівень бакалавр
Напрямок підготовки 193 “Геодезія та землеустрій”
(шифр і назва)
Спеціальність 6.08010105 “Геоінформаційні системи і технології”
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

проф., д.т.н. Карпінський Ю. О

“ ” _____ 2024 року

ЗАВДАННЯ **НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТУ** **Рильник Станіслав Володимирович**

(прізвище, ім'я, по батькові)

1.Тема проекту (роботи): «Проект класифікації точок лазерного сканування населеного пункту в Федеративній Республіці Німеччини»

Керівник проекту (роботи):

Доцент, к.т.н. Лазоренко Н. Ю.

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від “25” квітня 2024 року
№712/12

2.Строк подання студентом проекту (роботи) : 24.05.2024

3.Вихідні дані до проекту (роботи): файл проекту TerraScan, файл з класами, хмара точок, файл з функціональними клавішами, файл проекту MicroStation

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

РОЗДІЛ 1. ОЦІНКА ІСНУЮЧОГО СТАНУ ПРЕДМЕТНОЇ СФЕРИ. Основні поняття лазерного сканування. Класифікація технічного забезпечення для проведення лазерних знімачів. Класифікація літаків для виконання авіаційних лазерних знімачів. Огляд програмного забезпечення для обробки даних лазерного сканування. Аналіз використання лазерного знімання в топографічному

картографуванні. Аналіз нормативно-методичного забезпечення проведення лазерних знімачь

РОЗДІЛ 2. ЗАГАЛЬНА ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА ВИКОНАННЯ ОБРОБКИ ДАНИХ ЛАЗЕРНОГО СКАНУВАННЯ. Технологічна схема виконання робіт обробки даних лазерного сканування. Огляд використаного програмного забезпечення для обробки даних авіаційного лазерного сканування. Загальний опис території. Опис робочих класів в проєкті для класифікації. Класифікація хмари точок у ПЗ Microstation, ПЗ Tettasolid та за допомогою модулів TerraScan та TerraModeler. Створення ЦМР території проєкту.

РОЗДІЛ 3. ОЦІНКА РЕЗУЛЬТАТІВ КЛАСИФІКАЦІЇ. Оцінка коректності класифікації хмари точок відносно ЦМР. Різниця зміни кількості точок вихідного знімання з класифікованою хмарою.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
1. Мета роботи та завдання;
 2. Оцінка існуючого стану предметної сфери;
 3. Класифікація методів знімання;
 4. Аналіз використання лазерного знімання в топографічному картографуванні;
 5. Схема виконання обробки даних лазерного сканування;
 6. Огляд програмного забезпечення для класифікації хмари точок;
 7. Класифікація даних лазерного сканування;
 8. Перевірка коректності класифікації;
 9. Перевірка коректності класифікації відносно ЦМР;
 10. ВИСНОВКИ.
-

6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

Номер розділу	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

1.	Чепіга К. Спеціаліст з дистанційного зондування Землі та аерокосмічного моніторингу. Компанія «TVIS»		

7.Дата видачі завдання

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1.	ВСТУП		
2.	РОЗДІЛ 1. ОЦІНКА ІСНУЮЧОГО СТАНУ ПРЕДМЕТНОЇ СФЕРИ.		
3.	РОЗДІЛ 2. ЗАГАЛЬНА ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА ВИКОНАННЯ ОБРОБКИ ДАНИХ ЛАЗЕРНОГО СКАНУВАННЯ.		
4.	РОЗДІЛ 3. ОЦІНКА РЕЗУЛЬТАТІВ КЛАСИФІКАЦІЇ.		
5.	Висновки		
6.	Розробка графічного матеріалу		
7.	Оформлення пояснювальної записки		
8.	Подача проекту на попередній захист та рецензування		

Студент: Рильник С.В

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Керівник проекту (роботи): Лазоренко Н.Ю

(прізвище та ініціали)

(підпис)

РЕЗЮМЕ (summary) <i>До атестаційної випускної роботи студента:</i>		Рильник Станіслав Володимирович	
<i>Назва ВНЗ</i>	Київський національний університет будівництва і архітектури		
<i>Тема</i>	Проект класифікації точок лазерного сканування населеного пункту в Федеративній Республіці Німеччини		
<i>Освітній ступінь</i>	Бакалавр за освітньо-професійною програмою навчання		
<i>Факультет</i>	Геоінформаційних систем та управління територіями		
<i>Кафедри</i>	Геоінформатики та фотограмметрії		
<i>Спеціальність</i>	193 Геодезія та землеустрій		
<i>Спеціалізація</i>	Геоінформаційні системи і технології		
<i>Керівник</i>	Лазоренко Н. Ю Доцент, к.т.н.		
<i>Обсяг роботи</i>	<i>пояснювальна записка,</i>	<i>розділів</i>	<i>креслень формату А4</i>
	<i>стор.</i>		2
<i>Розділ 1</i>	ОЦІНКА ІСНУЮЧОГО СТАНУ ПРЕДМЕТНОЇ СФЕРИ. Основні поняття лазерного сканування. Класифікація технічного забезпечення для проведення лазерних знімачь. Огляд програмного забезпечення для обробки даних лазерного сканування. Аналіз використання лазерного знімання в топографічному картографуванні. Аналіз нормативно-методичного забезпечення проведення лазерних знімачь.		
<i>Розділ 2</i>	РОЗДІЛ 2. ЗАГАЛЬНА ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА ВИКОНАННЯ ОБРОБКИ ДАНИХ ЛАЗЕРНОГО СКАНУВАННЯ. Загальна технологічна схема виконання робіт обробки даних лазерного сканування. Огляд використаного програмного забезпечення та налаштування робочого середовища для обробки даних лазерного сканування. Загальний опис території. Опис робочих класів в проєкті для класифікації. Класифікація хмари точок у ПЗ Microstation, ПЗ Tettasolid та за допомогою модулів TerraScan та TerraModeler. Створення ЦМР території проєкту.		
<i>Розділ 3</i>	ОЦІНКА РЕЗУЛЬТАТІВ КЛАСИФІКАЦІЇ. Перевірка коректності класифікації, методом вимкнення окремих класів. Оцінка коректності класифікації хмари точок відносно ЦМР. Різниця зміни кількості точок вихідного знімання з класифікованою хмарою.		
<i>Висновки по роботі:</i>	Проаналізовано та оцінено стан предметної сфери. Відкласифіковано хмару точок в межах проєкту. Проведено аналіз коректності класифікації в декілька		

	етапів.
<p>Ключові слова: Лазерне сканування, хмара точок, цифрова модель рельєфу, класифікація.</p> <p>Keywords: Lidar, point cloud, digital terrain model, classification.</p>	

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	10
ВСТУП.....	11
РОЗДІЛ 1. ОЦІНКА ІСНУЮЧОГО СТАНУ ПРЕДМЕТНОЇ СФЕРИ	13
1.1 Основні поняття лазерного сканування.....	14
1.2 Класифікація технічного забезпечення для проведення лазерних знімачь.....	15
1.3 Огляд програмного забезпечення для обробки даних лазерного сканування.....	20
1.4 Аналіз використання лазерного знімання в топографічному картографуванні.....	23
1.5 Аналіз нормативно-методичного забезпечення проведення лазерних знімачь.....	26
РОЗДІЛ 2. ЗАГАЛЬНА ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА ВИКОНАННЯ ОБРОБКИ ДАНИХ ЛАЗЕРНОГО СКАНУВАННЯ.....	32
2.1 Загальна технологічна схема виконання робіт обробки даних лазерного сканування	33
2.2 Огляд використаного програмного забезпечення та налаштування робочого середовища для обробки даних лазерного сканування.....	36
2.3 Загальний опис території проєкту.....	39
2.4 Набір робочих класів для класифікації даних лазерного сканування.....	41
2.5 Класифікація хмари точок у ПЗ Microstation, ПЗ Tetrasolid та за допомогою модулів TerraScan та TerraModeler.....	49
2.6 Створення ЦМР території проєкту.....	58
РОЗДІЛ 3. ОЦІНКА РЕЗУЛЬТАТІВ КЛАСИФІКАЦІЇ	64
3.1 Перевірка коректності класифікації, методом вимкнення окремих класів.....	65
3.2 Оцінка коректності класифікації хмари точок відносно ЦМР	68

3.3 Різниця зміни кількості точок вихідного знімання з класифікованою хмарою.....	70
ВИСНОВКИ.....	72
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	74

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

1. ЦМР – цифрова модель рельєфу;
2. ЛЕП – лінії електропередачі;
3. GPS – система позиціювання;
4. ІМУ - інерційний вимірювальний пристрій;
5. ГІС – геоінформаційні системи;
6. ПС – повітряне судно;
7. ІВП – інструкція з виконання робіт;
8. GNSS - глобальна навігаційна супутникова система;
9. ПЗ – програмне забезпечення;
10. HSV – кольора модель для візуалізації поверхні (Hue-Saturation-Value).

Вступ

Актуальність теми. Метод лазерного сканування є дуже актуальною і перспективною в контексті розвитку геоінформаційних технологій та геодезії. Зазначена тема має широкий спектр можливостей для дослідження та реалізації, і вона може бути цікавою для різних областей, таких як геодезія, картографія, міське планування, екологія та інші. Нижче наведено декілька аспектів актуальності даної теми:

- Лазерне сканування в геодезії: застосування лазерного сканування для отримання тривимірних моделей місцевості широко використовується в геодезії. Проєкт класифікації точок може значно покращити точність та ефективність збору даних.

- Управління територією: класифікація точок лазерного сканування може бути важливою для аналізу та управління територією. Наприклад, визначення типу поверхні чи виявлення будівель може допомогти в плануванні міського розвитку та управлінні природними ресурсами.

- Екологічний моніторинг: Аналіз точок лазерного сканування може допомогти в екологічному моніторингу, виявленні змін в ландшафті та відслідковуванні ефектів впливу людської діяльності на навколишнє середовище.

Мета даної бакалаврської роботи полягає в створенні ефективного проєкту класифікації хмари точок лазерного сканування для аналізу частини населеного пункту у Німеччині. Основні завдання включають вдосконалення точності за допомогою автоматизованої та ручної обробки даних, що отримані лазерним сканером, зокрема розпізнавання будівель, доріг, зелених зон та інших об'єктів.

Об'єктами дослідження дипломної роботи є технологія класифікації даних, що отримані лазерним сканером

Предметом дослідження є процес класифікації за допомогою програмного забезпечення певної відсканованої території.

Завдання:

1. Аналіз та оцінка стану предметної сфери;
2. Обробка даних, що отримані за допомогою лазерного сканування
3. Оцінка результатів класифікації.

Вихідні дані отримані під час навчання в компанії, яка спеціалізується на обробці даних лазерного сканування «TVIS». До них входить: файл проєкту TerraScan, файл з класами, хмара точок, файл проєкту MicroStation та файл з налаштуванням функціональних клавіш.

РОЗДІЛ 1. ОЦІНКА ІСНУЮЧОГО СТАНУ ПРЕДМЕТНОЇ СФЕРИ

					БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА					
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Проект класифікації точок лазерного сканування населеного пункту в Федеративній Республіці Німеччини			Літ.	Арк.	Аркушів
Виконав		Рильник С.В								
Консульт.										
Керівник		Лазоренко Н.Ю						КНУБА, група ГІСТ-20		
Зав. каф.		Карпінський Ю.О.								

1.1 Основні поняття лазерного сканування

Лазерне сканування – це технологія отримання інформації про рельєф та об'єкти місцевості за допомогою лазерного променя. Результатом виконання лазерного сканування є хмара точок. Кожна точка цієї хмари має тривимірні координати XYZ.

Застосування даних лазерного сканування. Основні сфери:

1. Картографія та фотограмметрія
 - створення цифрових моделей місцевості (ЦМР) та цифрових моделей місцевості (ЦММ);
 - побудова горизонталей;
 - створення детальної ЦМР в місцях, вкритих рослинністю.
2. Управління водними ресурсами та протипаводковий захист
 - прогнозування річкових паводків та проектування протипаводкових споруд;
 - захист від повені внаслідок глобального підвищення рівня моря.

Створення цифрових моделей об'єктів інженерно-транспортної інфраструктури

- ліній електропередач (ЛЕП);
 - інфраструктури автомобільних доріг та залізниць.
3. Архітектура та будівництво
 - створення 3D-моделей будівель та споруд;
 4. Лісове господарство
 - визначення висоти дерев та об'ємів біомаси.

1.2 Класифікація технічного забезпечення для проведення лазерних зніманих.

Авіаційне лазерне сканування – знімання великих територій та лінійних об'єктів, яке виконується з літального апарату.

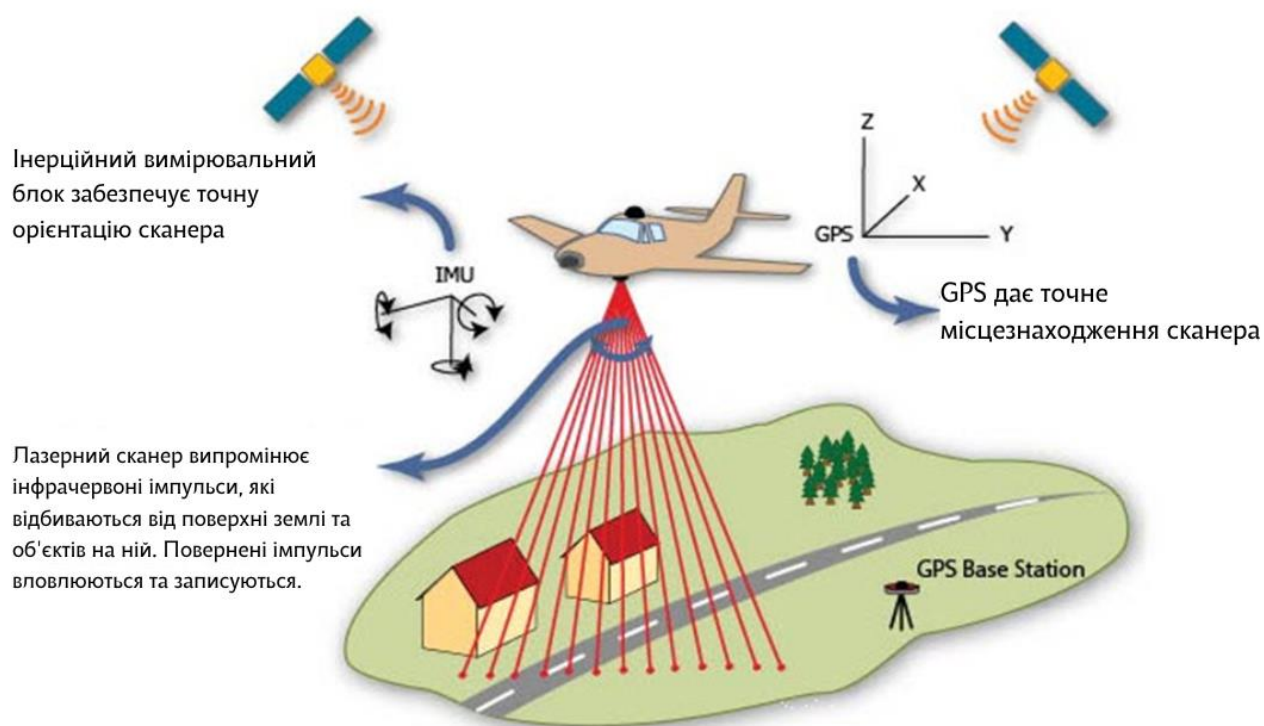


Рис. 1.1 Схематичне зображення авіаційного лазерного сканування

Дані GPS, отримані в повітрі та на землі через базові станції GPS кожні 25 км, використовуються для визначення траєкторії руху літака. Інерційний вимірювальний пристрій (IMU) фіксує кути нахилу (курс, крен, тангаж) для корекції позиції лазерного променя.

На відкритій місцевості відбувається реєстрація одного відбиття імпульсу за один раз (від поверхні землі). У територіях, покритих рослинністю, може відбуватися реєстрація кількох відбиттів від одного і того ж імпульсу, наприклад, від крон дерев, а потім від поверхні землі.

Авіаційне лазерне сканування має кілька переваг, серед яких:

1. Висока швидкість збору даних: спосіб авіаційного лазерного сканування може швидко охоплювати великі території, забезпечуючи ефективне збирання великого обсягу даних за короткий час.
2. Велика область охоплення: за допомогою авіаційного лазерного сканування можна охоплювати великі території, включаючи важкодоступні місця, які важко досягти з наземних пунктів.
3. Висока точність: лазерні сканери надають високу точність збирання геопросторових даних, що дозволяє отримати детальну інформацію про об'єкти на місцевості
4. Мінімальні вимоги до терену: порівняно з наземним скануванням, авіаційне лазерне сканування має менші вимоги до рельєфу та доступності місцевості, оскільки дослідження відбувається з великої висоти.

Незважаючи на багато переваг, авіаційне лазерне сканування також має деякі недоліки:

1. Високі витрати: обладнання для авіаційного лазерного сканування дороге в установці та утриманні. Покриття великих територій може вимагати значних фінансових витрат.
2. Залежність від погодних умов: погодні умови, такі як хмарність, дощ або туман, можуть впливати на якість та точність збору даних. Недосконалість погоди може призвести до зниження ефективності сканування або навіть до потреби повторного збору даних.
3. Обмеження висоти польоту: для досягнення високої точності сканування необхідні польоти на певній висоті, що може бути обмежене правилами авіаційної безпеки або іншими факторами, такими як наявність повітряного простору.

Загалом, авіаційне лазерне сканування є потужним інструментом для отримання великого обсягу точних геопросторових даних про місцевість за короткий час,

що робить його корисним для різних застосувань, включаючи картографування, геодезію, дослідження довкілля та інші галузі.

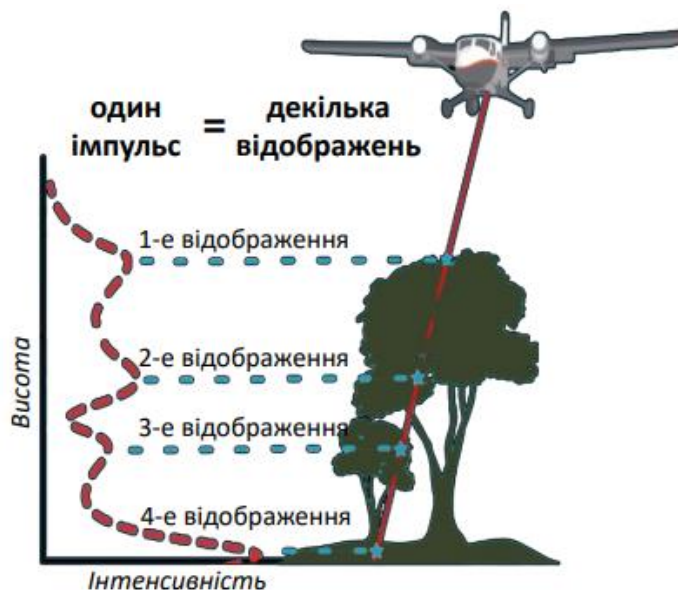


Рис. 1.2 Відображення залежності висоти від інтенсивності, враховуючи різні типи місцевості.

Наземне лазерне сканування, яке в свою чергу поділяється на **мобільне** – знімання виконується з рухомого наземного або надводного носія (автотранспортного засобу або надводного судна) та **стаціонарне** сканування – виконується зі стаціонарного лазерного сканера.

Мобільне сканування проводиться безперервно під час руху носія для зйомки лінійних об'єктів (автомобільних доріг, залізниць, ЛЕП, берегів тощо).

Наземне лазерне сканування має свої переваги і недоліки:

Переваги:

1. Контрольовані умови сканування: оскільки сканер розміщується на наземній платформі, його робота може бути краще контрольована в порівнянні з авіаційним скануванням, де вплив погодних умов може бути більшим.

2. Висока роздільна здатність: у порівнянні з авіаційним скануванням, наземне сканування може забезпечити більшу роздільну здатність деталей через ближній контакт із об'єктом.

4. Ефективність у вузьких або важкодоступних місцях: наземний сканер може легко працювати в обмежених або важкодоступних місцях, де авіаційне сканування може бути неможливим або непрактичним, наприклад у тунелях.

5. Зменшення витрат: у порівнянні з авіаційним скануванням, наземне сканування може бути менш витратним, оскільки не потрібно використовувати повітряні платформи.

Недоліки:

1. Обмежена область охоплення: наземне сканування обмежене областями, до яких можна дістатися з наземної платформи, що може створити обмеження для великих або важкодоступних територій.

2. Часові витрати: сканування великих територій може вимагати значних часових затрат на розміщення сканера та збір даних.

3. Потенційні перешкоди: наземні об'єкти, такі як будівлі, дерева або транспортні засоби, можуть перешкоджати процесу сканування та створювати тіні або перешкоди на зображеннях.



Рис 1.3 Мобільна станція закріплена на даху автотранспорту для наземного лазерного сканування.

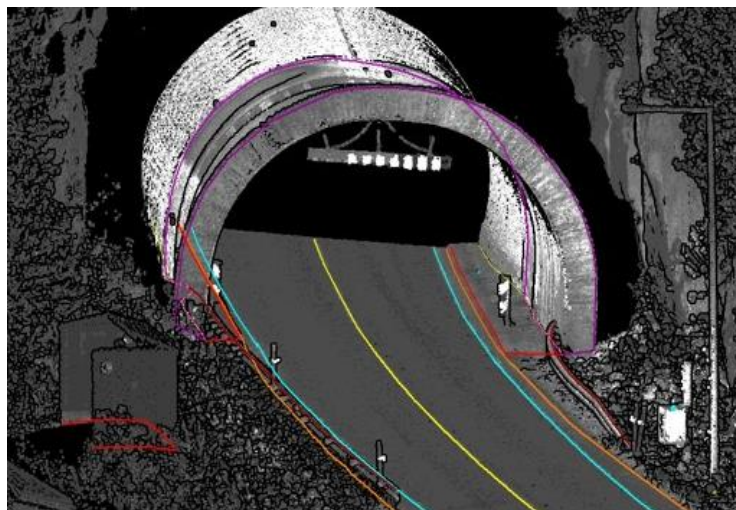


Рис.1.4 Результат наземного сканування, в даному прикладі – тунелю.

При стаціонарному скануванні прилад фіксується нерухомо на штативі, а вимірювання виконуються з різних точок стояння. Це може включати знімання окремих об'єктів, таких як інженерні споруди, будівлі, пам'ятки архітектури та інші.



Рис. 1.5 Приклад приладу для станціонарного наземного сканування компанії
Leica

1.3 Огляд програмного забезпечення для обробки даних лазерного сканування

Для вирішення задач обробки даних лазерного сканування на ринку представлено багато програмних рішень різної цінової категорії, декілька з них:

- Erdas IMAGINE
- ENVI Lidar
- TerraSolid
- GlobalMapper
- Autodesk InfraWorks

ENVI Lidar дозволяє швидко і якісно класифікувати, виділяти сліди будівель, ліній електропередач і високої рослинності. Іншої постобробки та завантаження даних практично не передбачено. Це програмне забезпечення дуже корисне для реалістичної візуалізації.

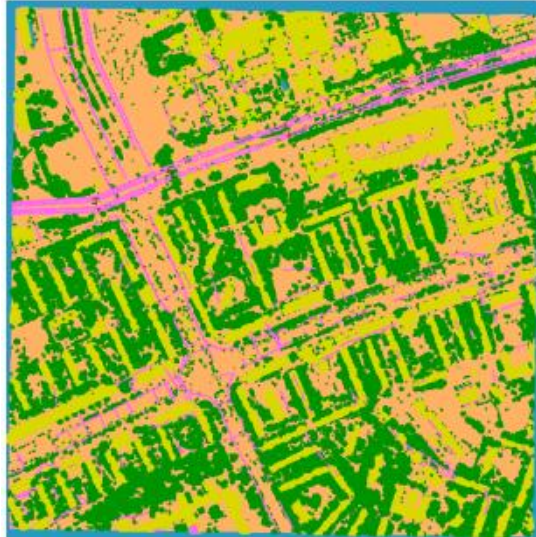


Рис.1.6 Візуальний приклад результатів автоматичної класифікації даних лазерного сканування в програмному забезпеченні ENVI Lidar

Програма **Global mapper** виробляє якісну (близьку до напівавтоматичної) класифікацію, але через роботу в одному потоці має низьку продуктивність

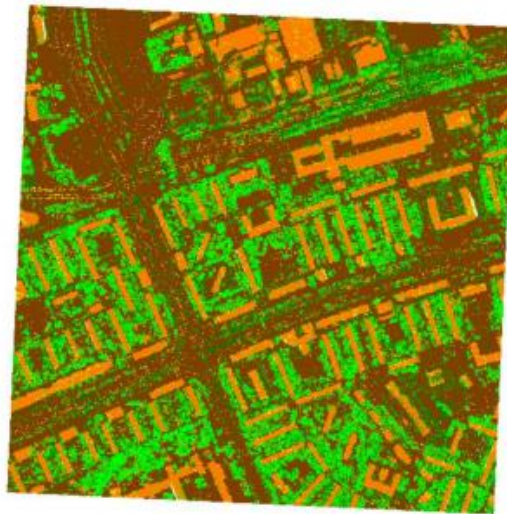


Рис.1.7 Візуальний приклад результатів автоматичної класифікації даних лазерного сканування в програмному забезпеченні **Global mapper**

Програмне забезпечення **Terrasolid** передбачає великий обсяг попередньої обробки і має досить високий рівень обробки даних лазерного сканування. Програмне забезпечення дозволяє виконувати тонке налаштування і витягувати найбільшу кількість векторної інформації, зокрема ухилів дахів.

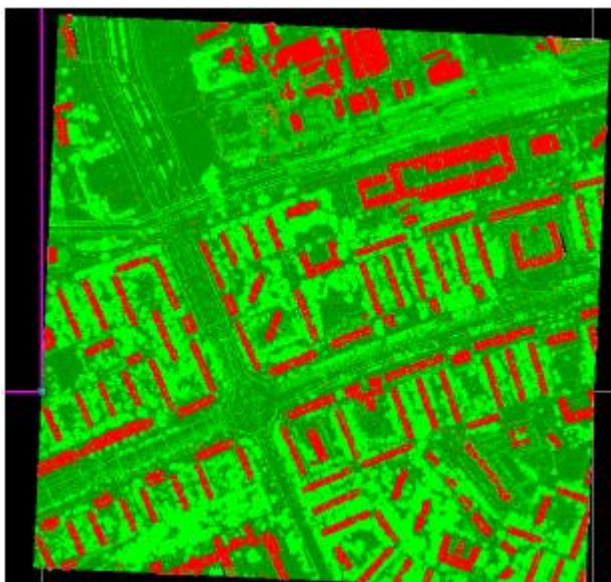


Рис.1.8 Візуальний приклад результатів автоматичної класифікації даних лазерного сканування в програмному забезпеченні **Terrasolid**

Erdas IMAGINE найбільше підходить для екологічних задач, завдяки можливості роботи з мультиспектральними зображеннями. Продуктивність обробки хмар точок є найнижчою з розглянутих, але в той же час дозволяє вирішувати задачі просторового аналізу. Головною перевагою Erdas IMAGINE є хороший і гнучкий зв'язок з ГІС.

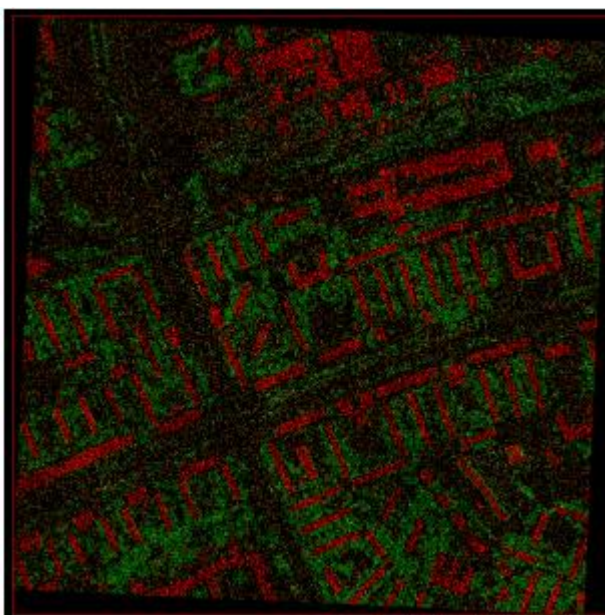


Рис.1.9 Візуальний приклад результатів автоматичної класифікації даних лазерного сканування в програмному забезпеченні **Terrasolid**

InfraWorks не вміє класифікувати хмару точок і використовує лише безкоштовні дані, такі як космічні знімки та карту SRTM.

MicroStation — це програмне забезпечення для автоматизованого проектування (CAD), якому довіряють користувачі з усього світу для створення точних 2D і 3D креслень для інфраструктурних проектів. Інженери, архітектори та професіонали з будівництва відкрито співпрацюють, щоб реалізувати надихаючі проекти, використовуючи провідний у галузі формат файлів DGN.

1.4 Аналіз використання лазерного знімання в топографічному картографуванні

Використання лазерного 3D сканування у топографічному зніманні вдосконалює методику проведення геодезичних робіт, підвищує якість отриманих результатів, сприяє реалізації новітніх технологій, дає можливість у миттєвому отриманні доступу до будь-якої інформації про об'єкт місцевості.

За допомогою лазерного сканування та наступною обробкою даних знімання, компанією TVIS, був виконаний: «Проект з обробки даних повітряного лазерного сканування на територію Замбії» та «Проект векторизації автомобільних шляхів за даними мобільного лазерного сканування території Чеської Республіки».

Мета проекту на території Замбії полягала у вимірюванні точних відстаней від об'єктів місцевості до ліній електропередачі. За допомогою класифікації хмари точок зі середньою щільністю 40 точок на квадратний метр проводилося визначення областей в захисній зоні ліній електропередачі всередині коридору шириною 500 метрів. Після автоматичної обробки даних, що розділила хмару точок на класи (земля, рослинність і шуми), інші точки класифікувалися вручну, відповідно до технічного завдання. Загальна довжина класифікованих ліній електропередач склала 606 кілометрів.

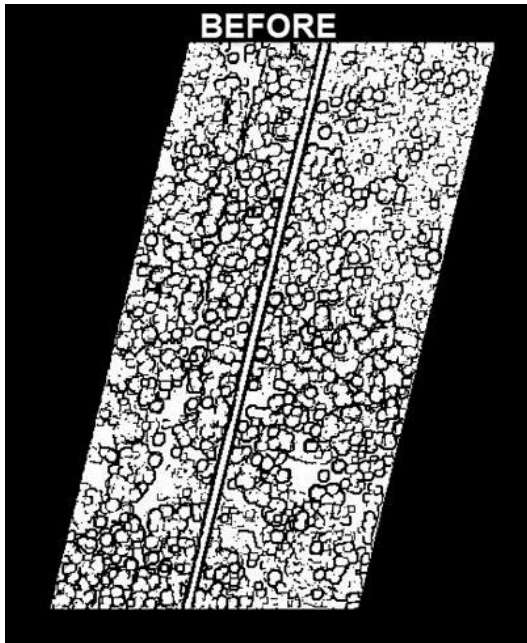


Рис.1.10
Приклад результату знімання без
обробки хмари

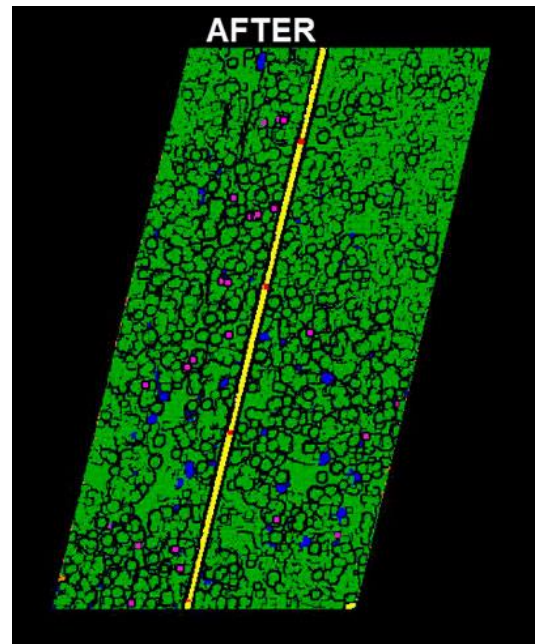


Рис.1.11
Ділянка після класифікації хмари

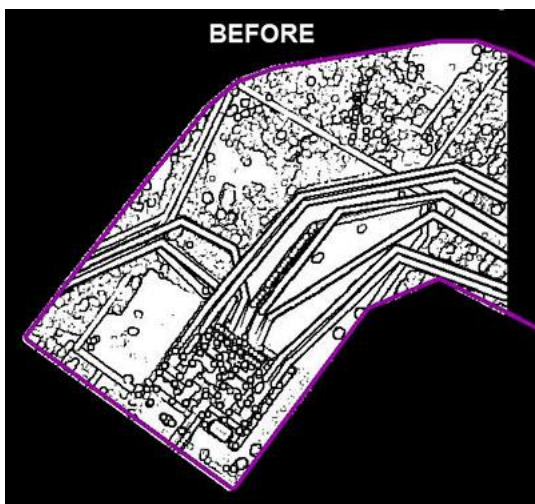


Рис. 1.12 Приклад (2)
«До» класифікації



Рис. 1.13 Приклад (2)
«Після» класифікації

Метою проекту на території Чеської Республіки є створення детальної та точної картографічної бази даних, яка дозволить забезпечити якісні дані інфраструктурних об'єктів дорожньої мережі Чехії.

Усього було проскановано й оброблено автодоріжні маршрути, зокрема мости й шляхопроводи на автомагістралях, загальною протяжністю 2100 кілометрів. Створення докладної та точної картографічної бази даних є важливою передумовою для надання якісної інформації про інфраструктурні об'єкти дорожньої мережі. Це дозволяє збирати, обробляти й аналізувати дані про дорожню мережу та супутню інфраструктуру з високою точністю й надійністю.

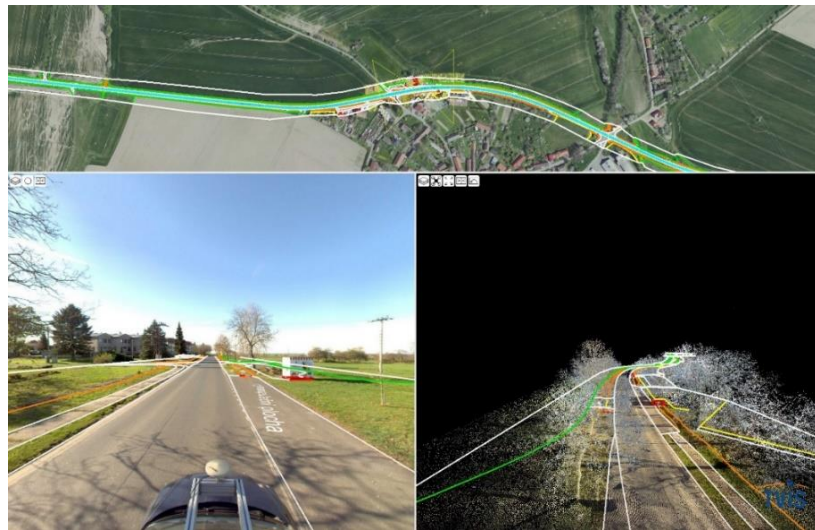


Рис. 1.14 Приклад векторизації заміської дороги



Рис. 1.15 Приклад векторизації каналу та мосту

1.5 Аналіз нормативно-методичного забезпечення проведення лазерних знімаль

Перелік основних нормативних посилань, яким необхідно користуватись під час проектування та проведення робіт:

1. Закон України “Про топографо-геодезичну і картографічну діяльність” від 23 грудня 1998 року № 353-XIV.
2. Закон України “Про географічні назви” від 31 травня 2005 року № 2604-IV.
3. Постанова Кабінету Міністрів України “Про затвердження Порядку загальнодержавного топографічного і тематичного картографування” від 4 вересня 2013 р. № 661.
4. Постанова Кабінету Міністрів України “Про впорядкування транслітерації українського алфавіту латиницею” від 27 січня 2010 № 55.
5. Інструкція класифікатору інформації, яка відображається на топографічних картах масштабів 1:10 000, 1:25 000, 1:50 000, 1:100 000, 1:200 000, 1:500 000, 1:1000 000.
6. Наказ ДП «УкрНДНЦ» “Про затвердження національного стандарту ДСТУ 8774:2018 “Географічна інформація. Правила моделювання геопросторових даних” від 11 серпня 2018 року №158.
7. Основні положення створення та оновлення топографічних карт масштабів 1:10 000, 1:25 000, 1:50 000, 1:100 000, 1:200 000, 1:500 000, 1:1 000 000 (Затверджені наказом Головного управління геодезії, картографії та кадастру України №156 від 31.12.1999 р. і погоджені з Воєнно-топографічним управлінням Генерального штабу Збройних сил України).
8. Положення про порядок організації контролю при виготовленні цифрових карт (Затверджено начальником Укргеодезкартографії від 14 лютого 1997 року).
9. Положення про редагування цифрових карт місцевості, які виготовляються на основі картографічних матеріалів з використанням растроскануючого

обладнання (Затверджено начальником Укргеодезкартографії від 02 червня 1997 року).

10. ДСТУ 8774:2018 Географічна інформація. Правила моделювання геопросторових даних.
11. ДСТУ ISO 19110:2017 (ISO 19110:2016, IDT) Географічна інформація. Методологія каталогізації об'єктів.

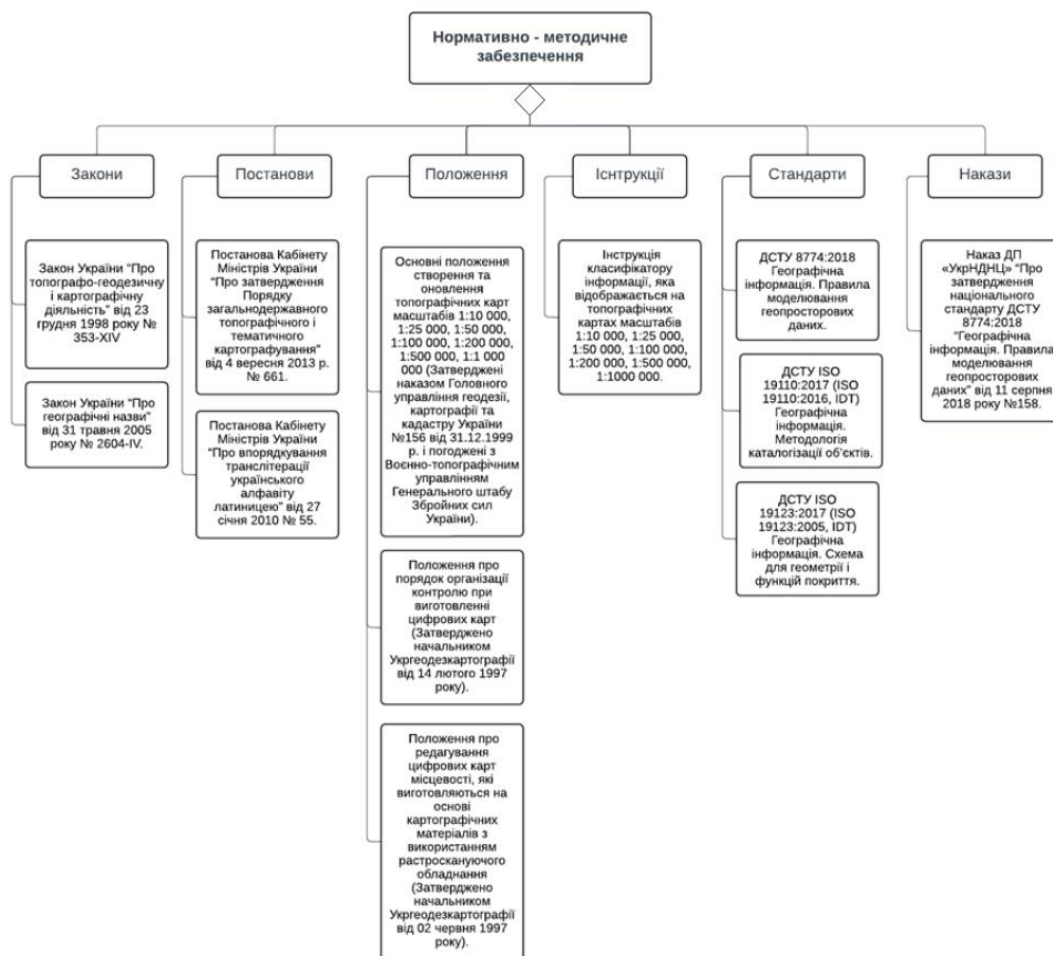


Рис.1.16 Нормативно-методичне забезпечення проведення та обробки даних лазерного сканування у вигляді UML діаграми.

Виконання авіаційного лазерного сканування здійснюється відповідно до таких вимог:

- Авіаційне лазерне сканування повинно виконуватись згідно з розробленим технічним проектом авіаційного лазерного сканування.
- Відхилення від спроектованих аерознімальних маршрутів не повинно спричиняти перевищення допустимих норм перекриття маршрутів та щільності хмари точок.
- Допускається виконання авіаційного лазерного сканування одного об'єкта декількома авіаційними лазерними сканерами різних типів та з різними характеристиками у випадку чіткого розмежування території для кожного авіаційного лазерного сканеру.
- У випадку виконання авіаційного лазерного сканування на ПС оснащеному захисним склом фотолюка, дане скло повинно відповідати вимогам сумісності з авіаційним лазерним сканером, встановленим виробником авіаційного лазерного сканеру.
- Під час виконання авіаційного лазерного сканування захисне скло фотолюка повинно бути чистим від бруду, пилу, вологи та інших об'єктів, які здатні спричинити негативний вплив на якість отриманих даних.
- Експлуатація авіаційного лазерного сканеру проводиться виключно дотримуючись інструкцій вказаних виробником авіаційного лазерного сканеру.
- Значення горизонтальної видимості під час виконання авіаційного лазерного сканування у денний період повинно бути не гірше 8 км.
- Допускається виконання авіаційного лазерного сканування в нічний період.
- Не допускається наявність факторів зовнішнього середовища, що закривають деталі місцевості, хмар, туманів.
- Допускається наявність верхньої хмарності, якщо висота сканування менше ніж висота нижнього краю цієї хмарності.

- Авіаційне лазерне сканування повинно виконуватись при відсутності снігового покриву.
- Допускається наявність невеликої кількості снігового покриву, якщо він не заважає отриманню необхідних результатів.
- Авіаційне лазерне сканування не можна виконувати коли територія перезволожена внаслідок значної кількості опадів.
- Оптимальним для виконання авіаційного лазерного сканування є до вегетаційний період, початковий етап вегетаційного періоду або після вегетаційний період рослин.
- Допускається виконання авіаційного лазерного сканування під час вегетаційного періоду залежно від цілей проведення авіаційного лазерного сканування, що має бути зазначено в технічному завданні.
- При виконанні авіаційного лазерного сканування під час вегетаційного періоду рослин слід збільшити проектне значення щільності хмари точок для забезпечення необхідної щільності хмари точок класу «Земля» залежно від характеру місцевості та типу рослинності.
- Бортові ГНСС спостереження під час виконання авіаційного лазерного сканування повинні виконуватись за умов видимості достатньої кількості супутників вказаної в технічній документації з експлуатації обладнання.
- У випадку використання ІВП виконання аерофотозйомки одного маршруту за один проліт не може тривати довше певного часу зазначеного виробником ІВП.
- Авіаційне лазерне сканування повинно виконуватись з висоти безпечної для спостерігача при потраплянні лазерного імпульсу на сітківку ока.
- За результатами кожного вильоту з авіаційного лазерного сканування складається звітний документ, який повинен містити в собі:
 1. дату виконання вильоту;
 2. об'єкт авіаційного лазерного сканування;
 3. час злету та посадки;

4. час початку та закінчення авіаційного лазерного сканування;
5. тип авіаційного лазерного сканеру, яким проводилось авіаційне лазерне сканування;
6. перелік маршрутів, авіаційного лазерного сканування, які було виконано;
7. додаткові примітки при необхідності (зазначення якості отриманих даних, зміна плану виконання польотів, погіршення погодних умов тощо);
8. ППІ екіпажу ПС, який приймав участь у виконанні авіаційного лазерного сканування.

Класифікація точок лазерного відображення здійснюється відповідно до таких вимог.

Класифікація точок лазерних відображень виконується в спеціальному програмному забезпеченні в два етапи:

- автоматична класифікація;
- ручна класифікація.

Для виправлення помилок автоматичної класифікації потрібно застосувати інструменти ручної класифікації для досягнення необхідної точності.

Для дешифрування об'єктів місцевості та виправлення помилок автоматичної класифікації точок лазерних відображень необхідно використовувати матеріали аерофотозйомки: знімки або ортофотоплани.

Точки лазерних відображень мають відповідати реєстру класів точок лазерних відображень, визначені заводемником знімання під конкретні задачі.

Основним класом точок, від якого залежить точність класифікації інших класів є клас «земля».

Клас «земля» використовується для створення ЦМР. Даний клас не повинен включати в себе:

- помилкові точки;
- об'єкти місцевості вище 20 см.

**РОЗДІЛ 2. ЗАГАЛЬНА ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА ВИКОНАННЯ
ОБРОБКИ ДАНИХ ЛАЗЕРНОГО СКАНУВАННЯ**

					БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Виконав		Рильник С.В			Проект класифікації точок лазерного сканування населеного пункту в Федеративній Республіці Німеччини	Літ.	Арк.	Арквщів
Консульт.								
Керівник		Лазоренко Н.Ю				КНУБА, група ГІСТ-20		
Зав. каф.		Карпінський Ю.О.						

2.1 Загальна технологічна схема виконання обробки даних лазерного сканування.

Після сканування частини території, спеціаліст з обробки даних лазерного сканування отримує набір даних для роботи. Першим завданням є урівнення та перевірка даних знімання за допомогою модулю Terramatch в ПЗ TerraSolid. Також замовник надає інформацію щодо класифікації, набір класів для роботи. Далі створюють проєкт і за допомогою макросу, автоматично класифікують хмару точок. Використання функціоналу Project у TerraScan дозволяє працювати з даними, що виконують пакетну обробку. Це спрощує та пришвидшує обробку великих наборів даних. Під час роботи з проєктами та виконання кількох кроків обробки даних важливо розуміти використання імен файлів та структур папок для відстеження маніпуляцій з даними. По суті, визначений проєкт завжди буде шукати файли з унікальною структурою імен. В загальному класифікацію можна поділити на 2 етапи: Автоматична класифікація, яка відбувається за допомогою макросів та ручна класифікація.

Макрос – це послідовний алгоритм дій. Для класифікації це означає, що потрібно вибудувати таку послідовність процедури, щоб після виконання отримати необхідний результат.

Terrascan має свої окремі процедури, зібравши їх в правильну послідовність отримаємо необхідний результат. Автоматична класифікація здійснюється на увесь проєкт або на окрему хмару точок, за допомогою процедур Terrascan (класифікаційні фільтри).

Класифікаційні фільтри встановлюються відповідно до умов місцевості та розподілу точок. Значення, які зберігаються у кожному фільтрі, перевіряються на випадкових зразках блоків, взятих у різних місцях в межах проєкту. Приклад макросу наведено на рисунку 2.1.

Процедура автоматичної класифікації включає 3 основні етапи:

1. Процедура класифікації шумів

2. Процедура класифікації землі
3. Процедура класифікації об'єктів (будинки, рослинність та інші)

```
#Процедура класифікації шумів
FnScanClassifyClass("Any",1,0)
FnScanClassifyIsolated("1",18,1,"18",5.00,0)
FnScanClassifyLow(1,7,1,0.50,5.00,0)
FnScanClassifyLow(1,7,15,0.50,5.00,0)
#Процедура класифікації землі
FnScanClassifyEcho(9999,26,1,0)
FnScanClassifySurface("26",25,0.050,0)
FnScanClassifyGround("25",2,"2",1,75.0,75.00,4.00,1.00,0,5.0,0,2.0,0)
FnScanClassifyGround("25",2,"2",0,75.0,50.00,12.00,1.50,0,5.0,0,2.0,0)
#Процедура класифікації об'єктів
FnScanClassifyClass("1,3-6,8-17,19-22,25-26,30,32-35",1,0)
FnScanDistClass("Any","2")
FnScanClassifyDistance("1",3,0.000,2.000,0)
FnScanAssignGroups("1",0,50,0,-1,0.200,10.0,2.50,1,4.00,20,0.60,2.00,0,20)
FnGrpClassifyBest(3,"Any",0.200,63,6,6,6,6,3,3,15,16,0)
FnScanClassifyCloseby("1","0-65535","0-255",6,3,0.750,0,0,-1,"6",0,"0-65535",0,"0-255",0)
FnScanClassifyCloseby("1","0-65535","0-255",6,2,0.500,0,0,-1,"6",0,"0-65535",0,"0-255",0)
```

Рис.2.1 Приклад коду макросу

Після виконання автоматичної класифікації, наступним етапом є ручна класифікація. Автоматична класифікація це попередня обробка, яка є не зовсім точною і чіткою, тому весь процес ще потребує ручної обробки спеціалістом за допомогою модулів TerraScan і TerraModeler. Ручна класифікація, це крайній етап обробки хмари точок, після якої можна проводити різні операції, створення цифрової моделі поверхні, 3D векторизація споруд і т.д.



Рис.2.2 Блок схема послідовності обробки даних лазерного сканування

2.2 Огляд використаного програмного забезпечення та налаштування робочого середовища для обробки даних лазерного сканування.

Для обробки даних лазерного сканування даного проекту було обрано ПЗ MicroStation в поєднанні з ПЗ Terrasolid, яке включає в себе модулі TerraScan та TerraModeler.

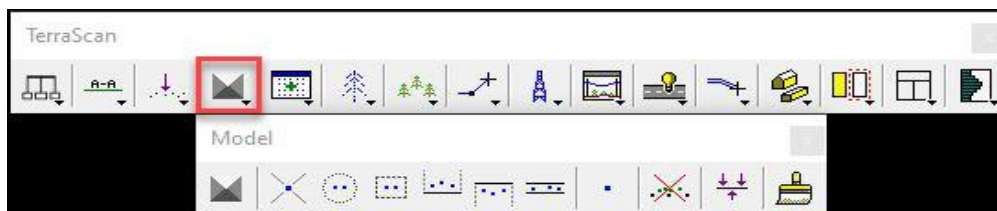


Рис 2.3 Вікно робочих інструментів TerraScan

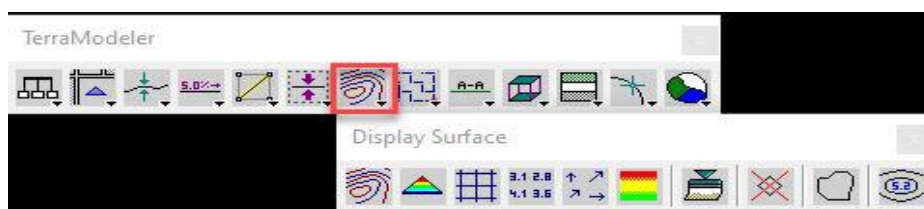


Рис 2.4 Вікно робочих інструментів TerraModeler

TerraScan – це набір інструментів для ручної класифікації хмари точок та векторизації об'єктів, також модуль дозволяє відкривати/закривати точки, налаштовувати візуалізації та створювати макроси.

TerraModeler - це повнофункціональний інструмент для моделювання, аналізу та редагування поверхонь, представлений у вигляді нерегулярної тріангуляційної мережі, дозволяє легко візуалізувати та обробляти моделі.

Налаштування робочого середовища починається з завантаження хмари точок або ж цілого файлу проекту, в даній роботі було використано саме спосіб завантаження файлу проекту, з огляду на великий об'єм даних. З тієї ж панелі завантажуються файл з класами.

Переваги використання файлу проєкту:

- ділить великий набір даних на більш дрібні частини, якими легко керувати. Кожна частина повинна містити кількість точок, які можна завантажити в програму і дозволити комфортну обробку точок;
- коли точки імпортуються в проєкт, програма автоматично ділить велику хмару точок на географічні регіони (які називаються блоками в термінології TerraScan). Це необхідно через те, що необроблені сирі лазерні дані часто надаються в лінійному порядку, в той час, як деякі процедури класифікації та інші етапи обробки залежать від географічних регіонів;
- є можливість запускати макроси, що обробляють дані всіх або вибраних блоків проєкту. Це важливо для автоматизованої обробки наборів великих хмар точок.

Після завантаження масиву даних, TerraScan дає можливість переглядати атрибути хмари точок та її статистику. Також за допомогою цього функціоналу є можливість ідентифікувати потрібні точки на вигляді зверху або в розрізі.

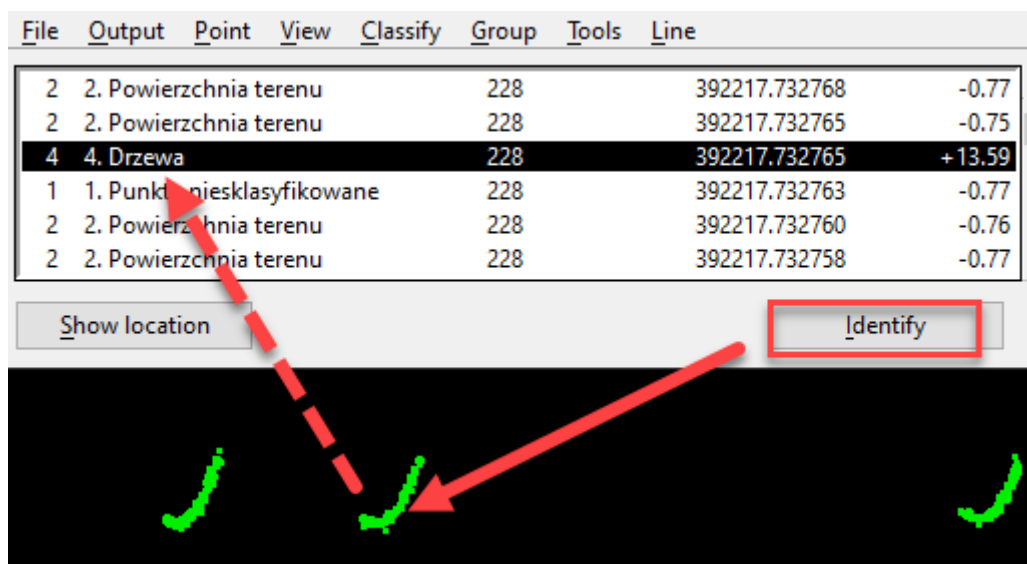


Рис.2.5 Вікно даних ідентифікації та перегляду статистики в масиві даних.

Статистика хмари точок потрібна для контролю класифікації. Деякі класи мають залишатись пустими і за допомогою статистики це можна перевірити.

Наступним етапом налаштування є завантаження файлу з функціональними клавішами та файлу ортофото. Меню функціональної клавіші - це файл, що містить визначення функціональних клавіш клавіатури, тобто призначення дій функціональним клавішам. Щоб кожного разу не обирати інструмент з панелі, можна просто натиснути клавішу, якій заздалегідь присвоєно певну дію, що значно пришвидшує роботу спеціаліста. Ортофото потрібне в першу чергу для ідентифікації об'єктів місцевості. Навіть, відзняте не в момент лазерного сканування ортофото значно допомагає при класифікації.

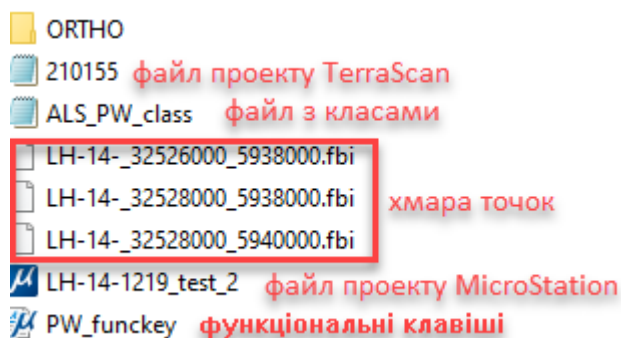


Рис.2.6 Узагальнений список всіх робочих файлів.

Після завантаження всіх необхідних робочих файлів, слід правильно налаштувати робочу область. Налаштування робочої області полягає в комфортному поділі робочого простору на види. Перший вид (view 1) це – вид зверху, другий (view 2) – вид розрізу, та третій (view 3) – ортофото. Рис.2.7.

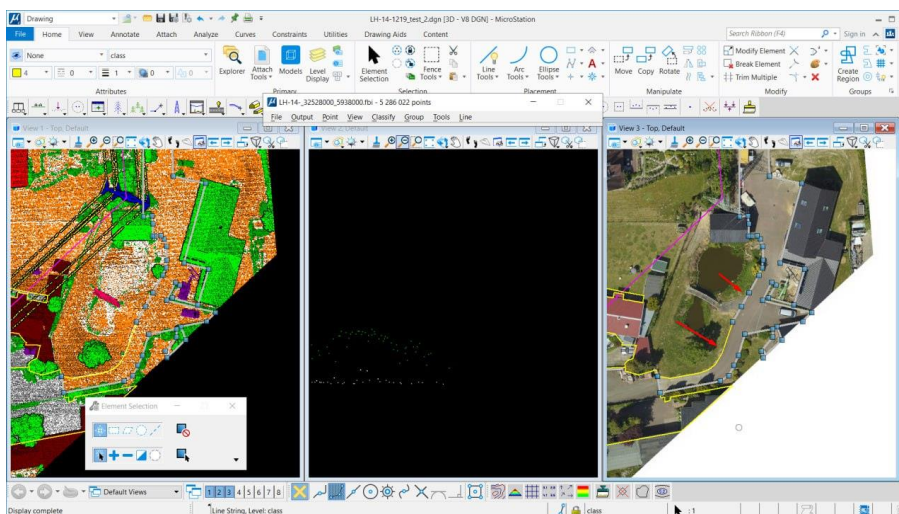


Рис.2.7 Приклад вигляду налаштованого робочого простору.

Для зручності перегляду ситуації по точках та на ортофотоплані, TerraScan має функцію синхронізації видів між собою. На Рис. 2.8 нижче налаштовано синхронізацію третього виду до першого. Це означає, що при переміщенні в першому виді (вид зверху) ситуація у виді 3 (орто/модель) буде переміщатись відповідно до першого. Також можна налаштувати взаємну синхронізацію видів.

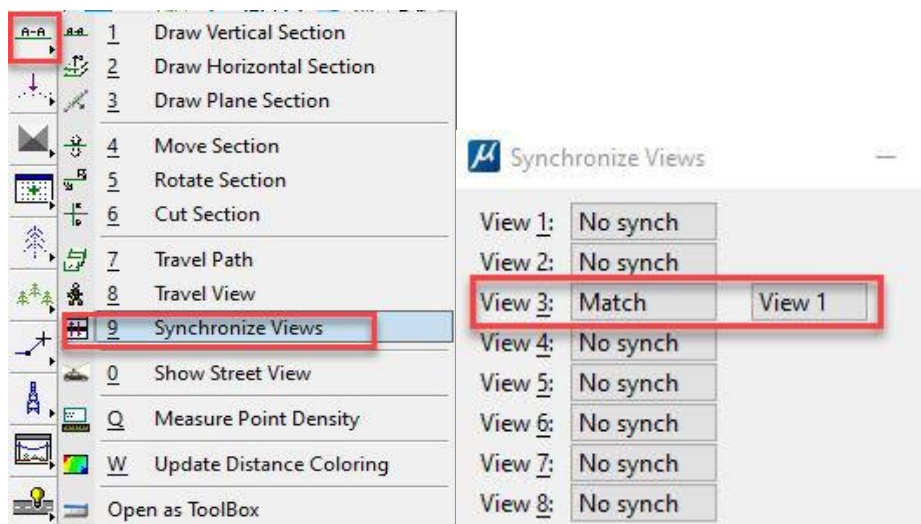


Рис.2.8 Синхронізація видів.

2.3 Загальний опис території проєкту

Аналіз відзнятої території, дає можливість спрогнозувати строки виконання робіт. Наприклад, території щільної забудови з великою кількістю об'єктів займає більше часу ніж класифікація незабудованих території. Опис території проводиться за допомогою ортофото та супутникових знімків Google Maps.

Лазерне знімання було проведено на західній частині території районного центру, міста Шаде, Німеччина. Робоча область зайняла 3 робочі блоки в TerraScan. По ортофото видно, що більша частина відсканованої території припала на незабудовані території: ліси, поля. (рис.2.9)

Відносно менша частина території - щільна забудова. (рис.2.10). Ця частина містить велику кількість транспорту, будинків різних типів, різного роду рухомих об'єктів та конструкцій, які можна поділити на тимчасві та постійні,

масив рослинності, парковки, транспорті зв'язки такі як: автомобільні дороги, колії, ґрунтові дороги, лінії електро – передач та мачти.

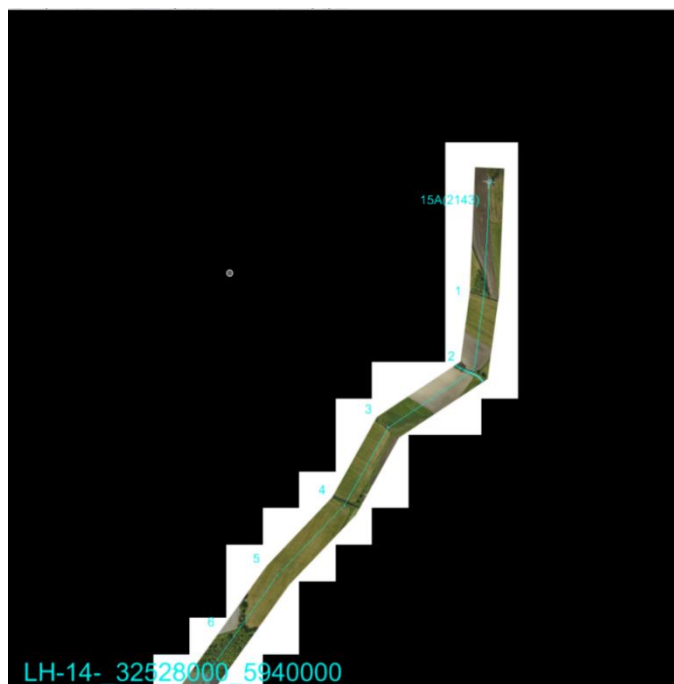


Рис.2.9

Блок LH14-_32528000_5940000

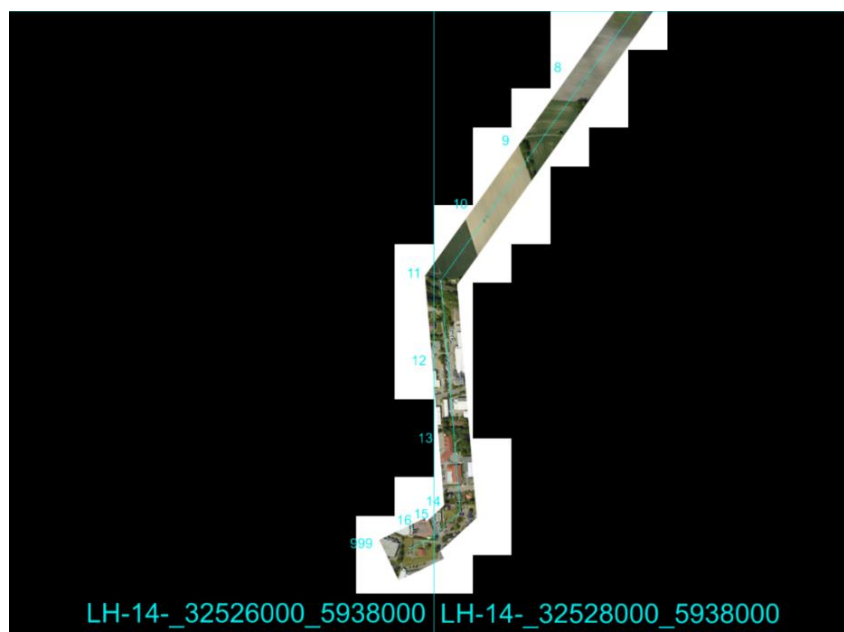


Рис.2.10 Блок LH14-_32526000_5938000 та Блок LH14-_32528000_59380000

2.4 Набір робочих класів для класифікації даних лазерного сканування

Набір робочих класів для класифікації даних лазерного сканування впливає на точність та коректність результатів класифікації. Ось деякі ключові аспекти, на які він може впливати:

1. Точність класифікації: робочі класи визначають типи об'єктів або поверхонь, які ідентифікуються на зображеннях лазерного сканування. Чим більш ретельно визначені робочі класи, тим точніше і коректніше буде класифікація.
2. Придатність до застосування: вибір робочих класів повинен відповідати конкретним потребам проекту або дослідження. Наприклад, якщо метою є аналіз екологічних аспектів, необхідно включити робочі класи, які відображають типи рослинності та ґрунтових покривів.
3. Специфічні характеристики області дослідження: деякі типи об'єктів можуть бути характерними для певних областей. Наприклад, в міському середовищі можуть бути важливіші будівлі та дороги, тоді як у природних областях важливіше розрізнення між різними типами рослинності.
4. Специфіка завдання: набір робочих класів також залежить від конкретного завдання класифікації. Наприклад, для виявлення змін у ландшафті може бути необхідно включити додаткові класи для визначення територій, що піддалися забудові або ерозії.

Нижче наведено список класів до робочого проекту. Нумерація класів відповідає нумерації у файлі.

1. Некласифіковані точки (Punkty niesklasyfikowane)

Це точки на відстані до 30 см над землею, класифіковані автоматично. При класифікації залізниць та води точки цього класу теж класифікуються в 10,11,12,46 класи відповідно.

4. Деревя (Drzewa).

Рослинність вище 2м. В ході класифікації рослинність по висоті не розділяється, це робиться автоматично.

5. Дахи > 15 ° (Dachy > 15°)

Покрівлі, які негорючі (бетон, шифер, глина, цинковий лист, етерніт, скло - великі теплиці). Покрівля класифікується повністю в один клас, не може бути інших класів. (Рис.2.11). Зовнішні сходи поруч з будівлею класифікуються як дах. На даху не виділяється сонячна батарея окремо, вона класифікується в клас даху.

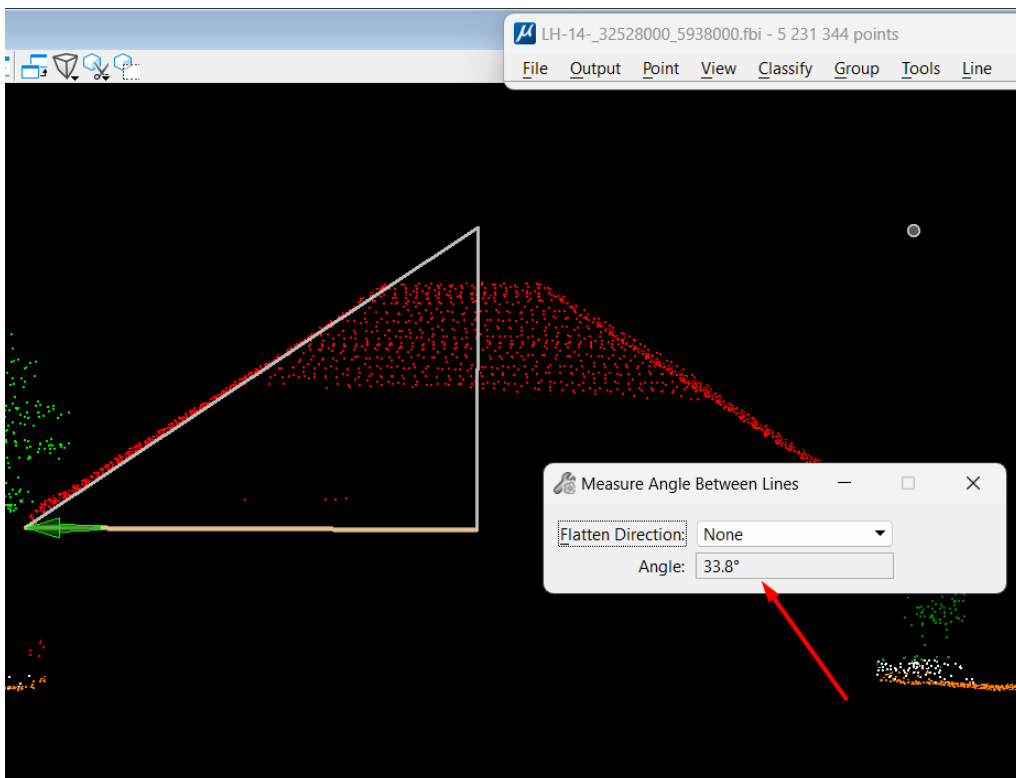


Рис. 2.11 Вимірний кут нахилу даху >15°, тому цей дах і будівля повністю класифікується в 3 клас.

6. Дахи < 15 ° (Dachy < 15°)

Покрівля, що не горюча (бетон, шифер, глина, цинковий лист, етерніт, скло - великі теплиці). Як правило, такі дахи, по яких можна ходити. Вся будівля в один клас, разом зі стінами. Покрівлю класифікується повністю в один клас.

- у тому числі кам'яні стіни та димоходи (труби на дахах, вентиляції вище 2м від даху класифікуються в 27 клас);
- великі сходи біля будівлі;
- мансардні (вікно слухове, мансардні вікна з дахом);
- балконні панелі.

7. Інші дахи (Pozostale dachy)

Горючі поверхні даху, покриті наприклад, дьогтем, пластиком (незалежно від висоти даху). Пластикові куполи, циліндричні дахи, пластикові мансардні вікна, пластикові мансардні вікна на промислових дахах. Невеликі (скляні) теплиці.

8. Антени \ Громовідводи

- антени;
- блискавковідводи;
- компоненти блискавковідводу;
- супутникові тарілки на дахах.

Антени та світильники на покрівлі дуже важливі при розрахунку. (рис.2.12)

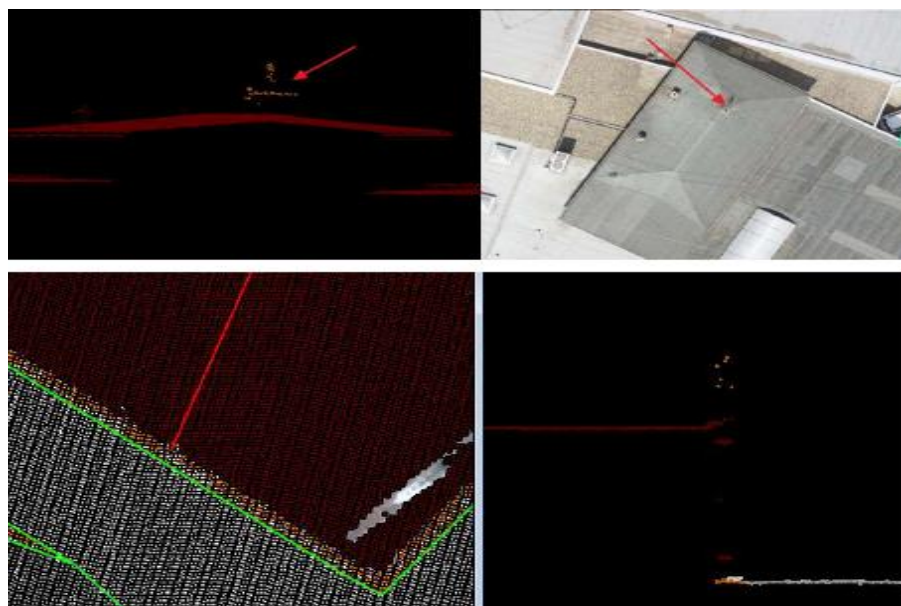


Рис.2.12 Антени та громовідводи на ортофото, у розрізі та на вигляді зверху.

9. Дороги (Drogi) Тільки з класу 2, з 1 класу не класифікується.

- дороги
- автостоянки та парковки, паркувальні майданчики, розташовані безпосередньо на дорозі.

Класифікується територія як дорога, коли вона покрита асфальтом і на ній можна помітити розмітку, або асфальтована дорога шириною більше 4 метрів.

Не класифікуються пішохідні та велосипедні доріжки в населених пунктах.

10. Колії (Kolej)

- залізничні колії (якщо є надземна контактна лінія).

Колії класифікуються до класу 10, лише якщо вище є контактні лінії. Однак, якщо немає надземної контактної лінії – колії класифікуються до класу 11 (без контактних ліній).

11. Залізниця (без контактних ліній) - Kolej (z opcja sieci trakcyjnej)

Некласифіковані точки (Default) включаються і класифікуються.

- залізничні колії (якщо немає надземної лінії зв'язку)

Зарослі колії - це також колії, які класифікуються.

12. Водні шляхи (Drogi wodne)

- великі широкі річки (включаючи край берега, якщо він знаходиться на висоті найвищих лазерних точок води);
- човни класифікуються в рухомі об'єкти (44 клас);
- не класифікуються дуже вузькі водотоки.

13. Установка освітлення (Instalacja oświetleniowa)

- дорожнє освітлення;
- залізнична сигналізація;

- радіо щогли;
- система штучного освітлення;
- світлофори.

14. Канатні дороги (Kolej linowa).

- канати;
- компоненти пристрою, кабінки.

15. Інші об'єкти зв'язку (Pozostale obiekty komunikacyjne). Тільки з класу 2, з 1 класу не класифікується.

- подвір'я для зберігання (тільки поверхня землі);
- під'їзна дорога до промислових територій;
- парковка (якщо не понад дорогою);
- територія звалищ (лише поверхня землі);
- територія промислових зон, де можна проїхати (поверхні повинні бути прохідними для автомобілів);

16. Електроустановки (Instalacje elektryczne)

- лінії електропередач, які не належать до головної мережі (пересічні, паралельні ...);
- компоненти системи ел. станцій;
- телефонні щогли.

Якщо це паралельна лінія до головної та розташована далі 30 м від неї, то в цьому випадку класифікуються як клас 16 (щогли + лінії електропередач). Якщо ближче 30м до головної, то кабелі в 16 клас, а щогли в K01,02,03...відповідно до кількості ліній в 1 блоці (рис.2.13)

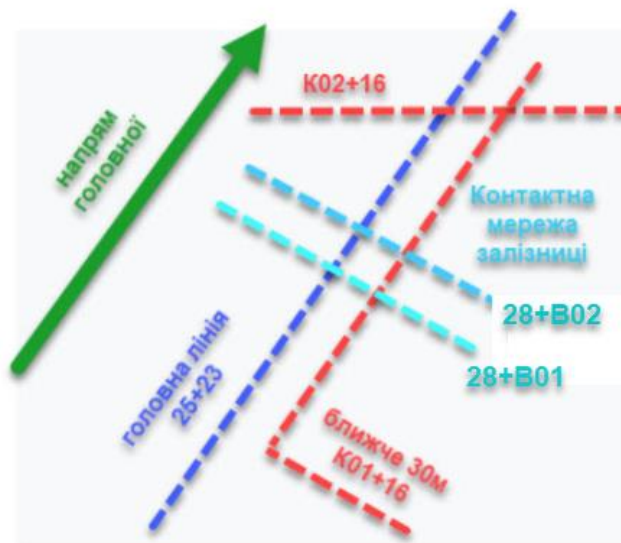


Рис. 2.13 Схематичне зображення класифікації ЛЕП.

18. Водні басейни (Baseny wodne).

Не класифікується басейн біля будинків.

- найвищий рівень води, інакше край басейну;

20. Інші споруди (Pozostałe obiekty). Вище 2м.

Лише компоненти, не поверхня місцевості.

- ігрове обладнання і спорт, шкільний двір (школа та дитячий садок);
- будиночки на деревах;
- обладнання на дитячих майданчиках;
- місця для відпочинку;
- елементи, що позначають старт та фініш;
- місця для кемпінгу та обладнання;

22. Інший (Pozostałe). Непостійні об'єкти вище 2м.

- тюки силосу;

- мотузки для білизни, тенти, тільки якщо вище 2,00 м;
- сходи у підвал;
- все, що знаходиться на поверхні інших об'єктів зв'язку;
- об'єкти знаходяться під дахом будівлі, але вони мають мінімальну висоту 2 м класифікується як 22 клас;
- кукурудза.

23. Лінії електропередач (лінії високої напруги) - Linie energetyczne (linie wysokiego napięcia)

- Кабелі головної магістралі.

24. Низька рослинність (0,3 м - 2,0 м) (Niska roślinność)

Зелений пояс, висотою до 2м.

25. Щогла (Maszt)

- конструктивні елементи основної лінії електропередачі.

26. Технічні об'єкти дорожнього руху (Obiekty techniczne w ruchu drogowym).

Тільки ті, які вище 2м.

- прапорці, бар'єри;
- шумозахисні стіни;
- залізничні бар'єри;
- великі знаки;
- стовпи з аварійним телефоном на шосе;
- великі рекламні оголошення;
- інформаційні знаки на трубопроводах.

27. Будівельні об'єкти (Obiekty budowlane) Вище 2м.

- силосний відвал(стіни, якщо він заповнений, також верхній край сміттєзвалища);
- силосний відвал, незабруднений;
- резервуари для гною;
- очисні споруди (повністю,баки для рідкого гною);
- резервуар для мастила (постійно встановлений);
- димоходи (високі промислові димоходи, також на стінах);
- роторний екскаватор;
- трубопроводи центрального опалення та подачі;
- конвеєр;
- огорожні обладнання (більше. 2,00 м);
- розподільні пристрої;
- рекламні стовпи;
- телефонні кабінки;
- автобусні зупинки;
- вентиляція на дахах вища 2м від даху.

28. Обладнання контактної мережі (Obiekty sieci trakcyjnej)

- Залізнична тягова мережа

44. Об'єкти рухомі (Obiekty ruchome)

- транспортні засоби, люди, тварини (незалежно від висоти на відкритих майданчиках), великі контейнери для сміття (якщо вони стоять вільно), вагони на парковках.

45. Вишки (Ambona)

- Вишка для мисливців - вони дуже важливі при обчисленні відстаней.

46. Акваторія (Obszar wodny)

- великі місцеві ставки, озера, розмежовані акваторії для плавання, зони купання;
- невеликі потоки.

52. Комунальні дороги та маршрути (Drogi gminne i trasy przejazdu).

- пішохідні та велосипедні доріжки за містом;
- муніципальні дороги та часто відвідувані ґрунтові дороги.

99. Low point Air point - повітряні та низькі точки.

Помилкові точки або Шуми

2.5 Класифікація хмари точок у ПЗ Microstation, ПЗ Tettasolid та за допомогою модулів TerraScan та TerraModeler.

Основний набір інструментів для ручної класифікації знаходиться на робочій панелі TerraScan. (рис.2.14)

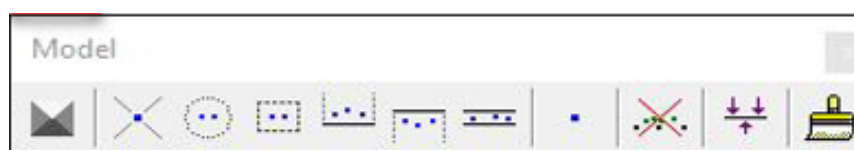





Рис 2.14 Набір інструментів для ручної класифікації

Інструмент **Classify Using Brush**  класифікує точки всередині круглої або прямокутної кисті. Усі точки, яких торкається пензлик, класифікуються. Візуалізація точок динамічно змінюється під час використання інструмента. Інструмент працює як у видах зверху, так і в розрізах.

Інструмент **Classify Above Line**  класифікує точки над лінією, намальованою у вигляді поперечного перерізу. Класифікація впливає лише на точки, які

знаходяться всередині розширеного та відображеного виду поперечного перерізу.

Інструмент працює в розрізах.


Інструмент **Classify Below Line**  класифікує точки під лінією, намальованою у вигляді поперечного перерізу. Класифікація впливає лише на точки, які знаходяться всередині розширеного та відображеного виду поперечного перерізу.

Інструмент працює в розрізах.

Інструмент **Classify Fence**  класифікує точки всередині зони.

У MicroStation зону можна визначити, намалювавши елемент перед запуском інструмента.

Інструмент працює як у видах зверху, так і в розрізах.

Інструмент **Classify Close To line**  класифікує точки, розташовані близько до заданої лінії на поперечному перерізі. Він може поєднувати до трьох ступенів класифікації: вище, ближче та нижче лінії. Класифікація впливає лише на точки, що знаходяться всередині коридору та глибини відображення поперечного перерізу.

Інструменти автоматичної класифікації, значно спрощують та прискорюють роботу спеціаліста. Цей інструмент дає можливість автоматично класифікувати великий обсяг даних з одного класу в інший в межах певного діапазону або ж всього файлу.

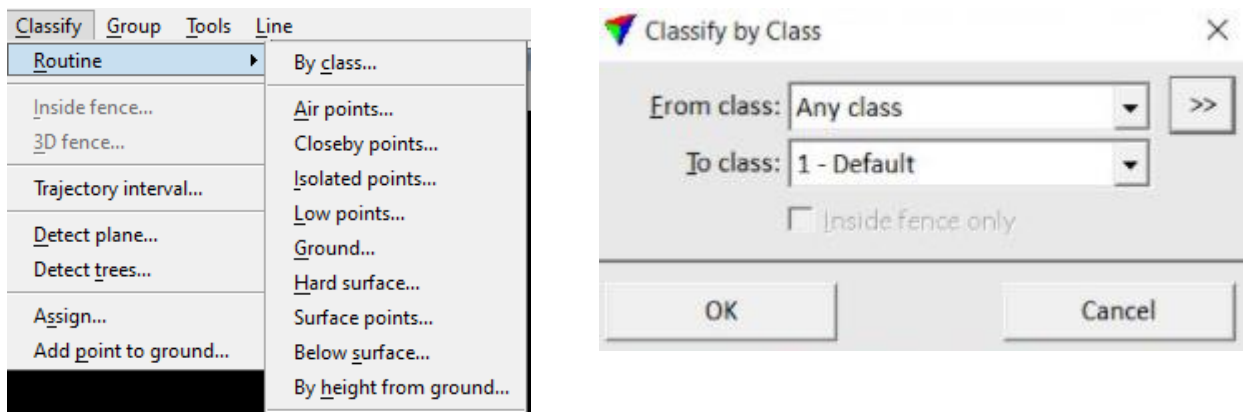


Рис. 2.15 Інструмент автоматичної класифікації

By class класифікує всі точки з одного або кількох заданих класів до іншого класу. **From class** – з якого класу, **To class** – в який.

Після налаштування робочого середовища, підвантаження попередньо відредагованої хмари методом автоматичної класифікації, потрібно вручну перевірити та виправити пропущені помилки. В першу чергу вся ділянка ґрунту перевіряється на помилки, тобто усунення шумів. Шуми - це точки, які пробиваються крізь землю при скануванні або ж висять у повітрі. Причина появи таких точок можуть стати несприятливі погодні умови при зйомці, наприклад в дощову погоду, каналізаційні люки, точки можуть пробиватися крізь автомобілі під колесами або через дахи будинків (рис.2.17)

Щоб як умога краще виділити подібні помилки, потрібно налаштувати відображення ґрунтів (рис.2.16). У 3 вигляді – зверху відключаються всі класи окрім ґрунту та виставляються значення color – shading, speed – normal.

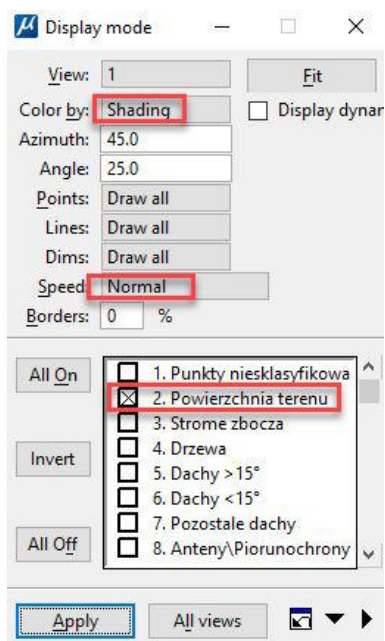


Рис.2.16 – Вікно налаштування вигляду зверху, для виправлення помилок рельєфу.

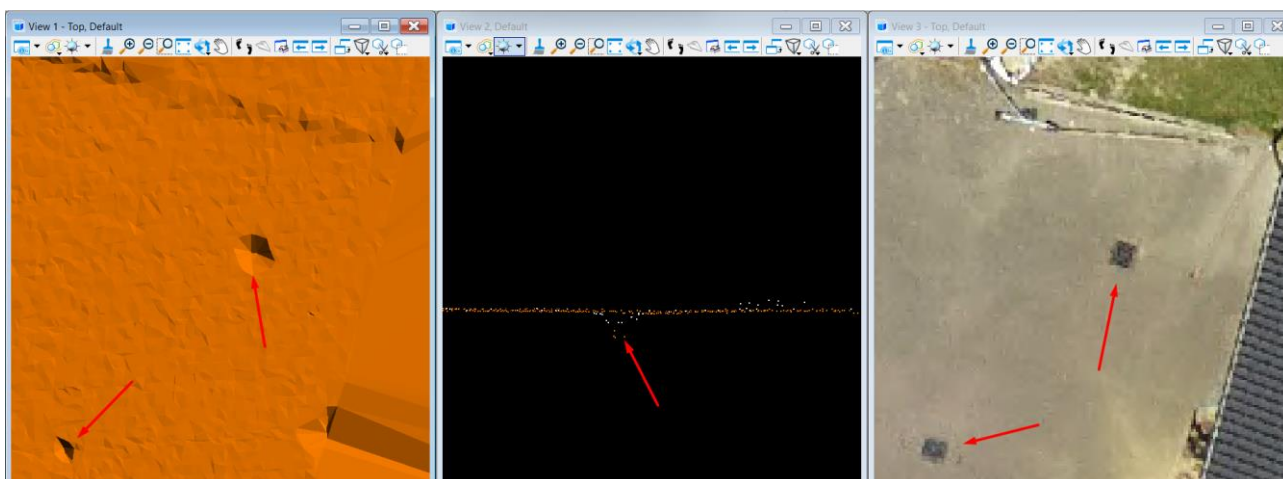


Рис.2.17 Стрілками на рисунку позначено як виглядають шуми у вигляді зверху – зліва на скріншоті, в розрізі – по середині, та на ортофото – це каналізаційних ЛЮК.

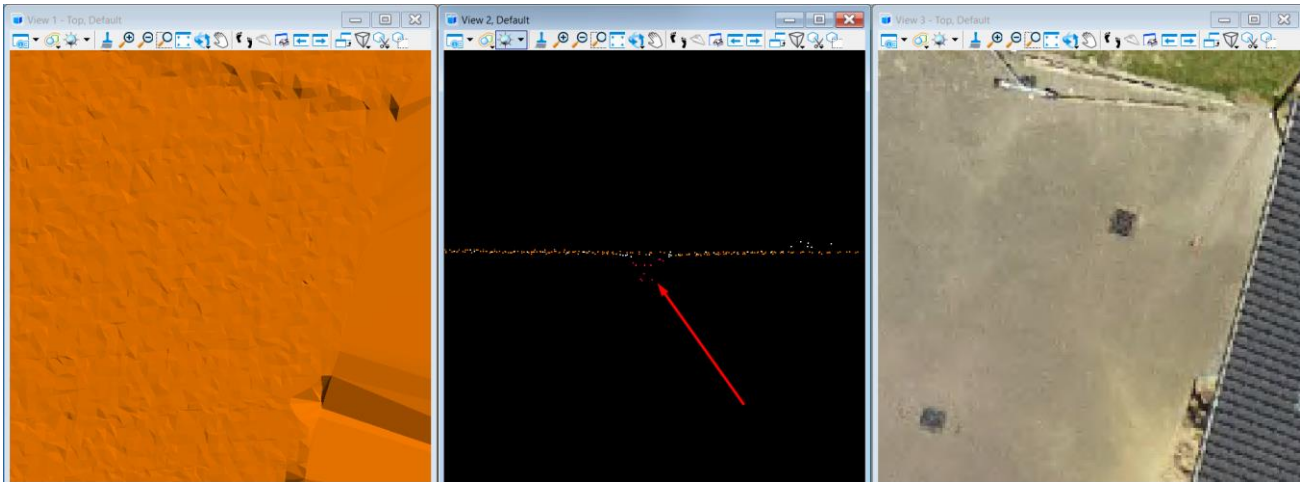


Рис. 2.18 Та ж ділянка що на рисунку 2.17 після класифікації шумів. Модель рельєфу змінила свій вигляд, провали зникли.

Вище на рисунках наведено приклад виправлення шумів, по такому ж принципу переглядається вся ділянка, на всіх трьох блоках. Також на даному налаштуванні відображення вигляду зверху, чітко видно сходи біля будинків, які класифікуються в 22 клас. (рис. 2.19)

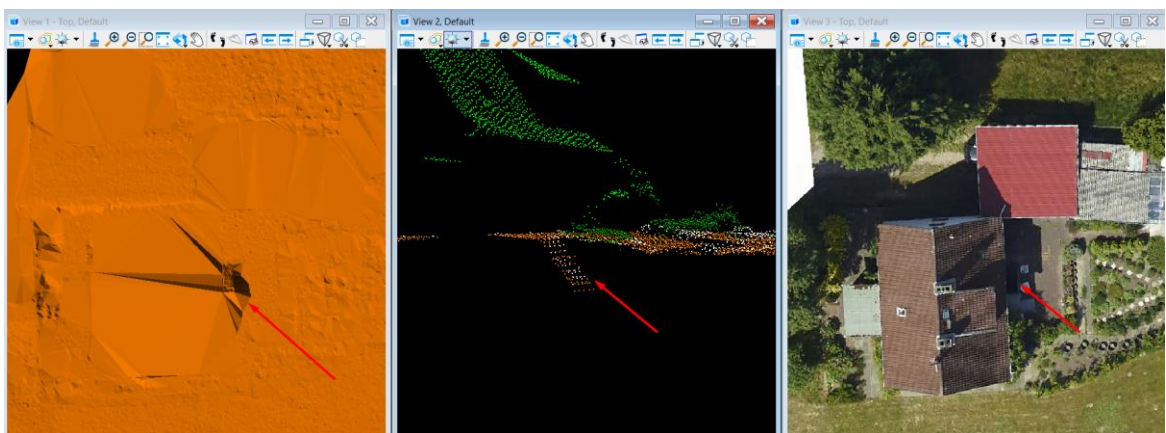


Рис.2.19 Сходи у 3 видах

Векторизація доріг, колій, проїздів, парковок, промислових зон. Перед початком векторизації потрібно створити робочий шар для вектору, куди він буде зберігатись. За допомогою вектора, можна автоматизувати і значно пришвидшити ручну класифікацію, так як він дає змогу виділяти полігоном велику частину ділянки наприклад, проїжджу частину (рис.2.20), парковку чи іншу ділянку землі.

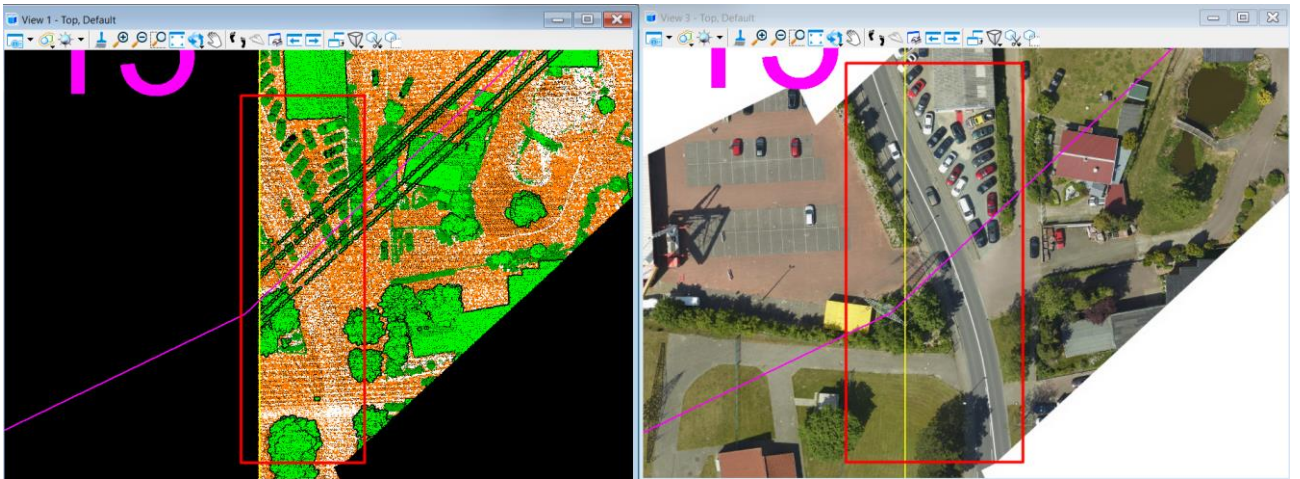


Рис.2.20 Червоним прямокутником виділено проїжджу частину, на якій чітко видно розмітку та асфальтоване покриття, тому дана ділянка класифікується в 9 клас.

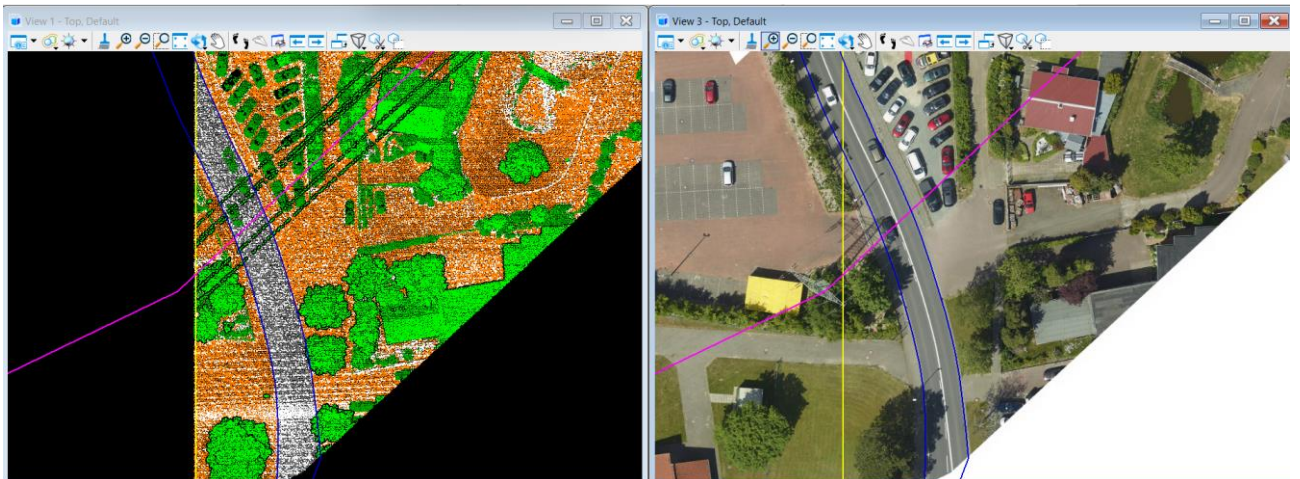


Рис. 2.21 Результат класифікації. Синьою лінією виділений полігон, в межах якого всі точки з 2 класу (класу ґрунту) перенесено в клас 9.

По такому ж принципу, класифікуються парковки, промислові зони, ґрунтові дороги. На залізничних дорогах, вектор проводиться чітко по шпалам, це важливо при підрахунку відстаней, рис.2.22.

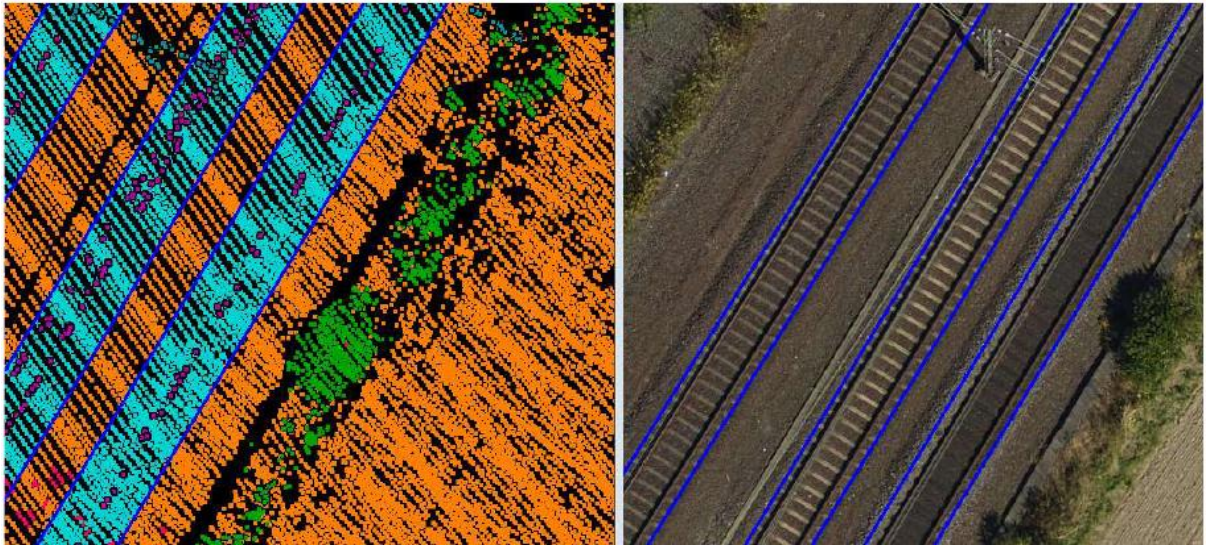


Рис.2.22 Синьою лінією відмічено вектор, по якому ділянка буде класифікуватись з вибраного класу у відповідний.

Мачти та лінії електропередач. Лінії електропередач є дуже важливими компонентами в енергетичному секторі, і їх моніторинг відіграє дуже важливу роль. Моніторинг та виявлення ліній електропередач може забезпечити потужну підтримку всієї системи управління електричною мережею країни. Лінії електропередач часто знаходяться у важкодоступних місцях, а отже, мережу ліній електропередач може бути важко обстежити, така детальна класифікація кожної точки можлива тільки за умови ручної класифікації. ЛЕП діляться на головну лінію електропередач та другорядні, пересічні, паралельні. Рожевий вектор, який проходить через усю ділянку позначає напрям головної лінії і класифікується в 23 клас, другорядні – 16 клас. Рис. 2.24.

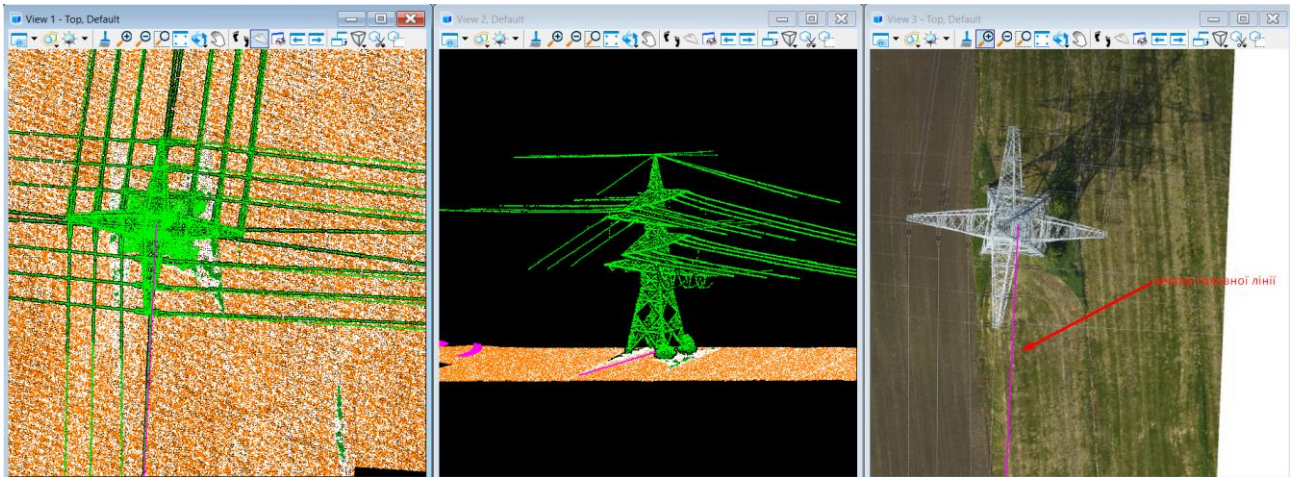
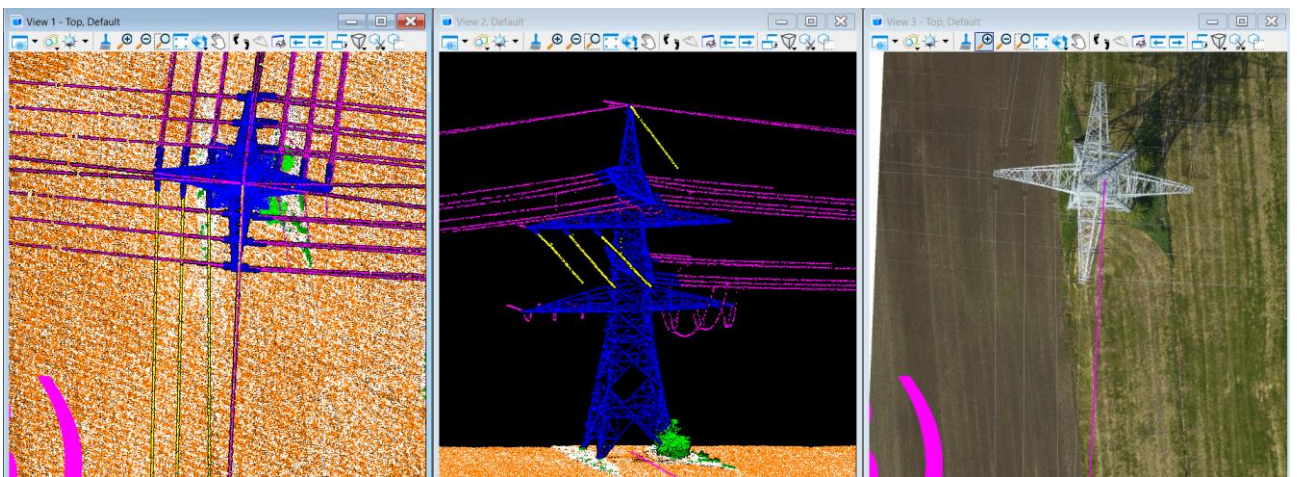


Рис.2.23 Мачта і ЛЕП автоматично класифіковані як висока рослинність.
Потрібно перекласифікувати у відповідні 23,25 та 16 клас.



2.24 Результат класифікації у трьох видах. Жовтий колір – 23 клас, фіолетовий – 16 клас, мачта - 25.

Водні об'єкти: озера, річки. В розрізі вони мають вигляд суцільної горизонтальної лінії точок, нижче рівня ґрунту. Класифікація також проводиться в одну лінію. Точки води повинні бути класифіковані в один рівень у відповідний клас.

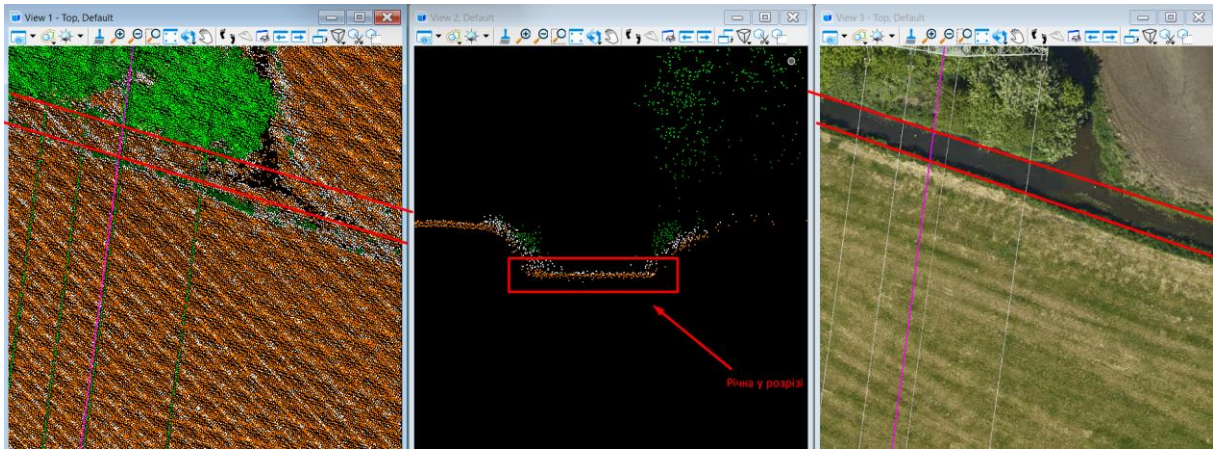


Рис. 2.25 Річка у трьох видах до класифікації.

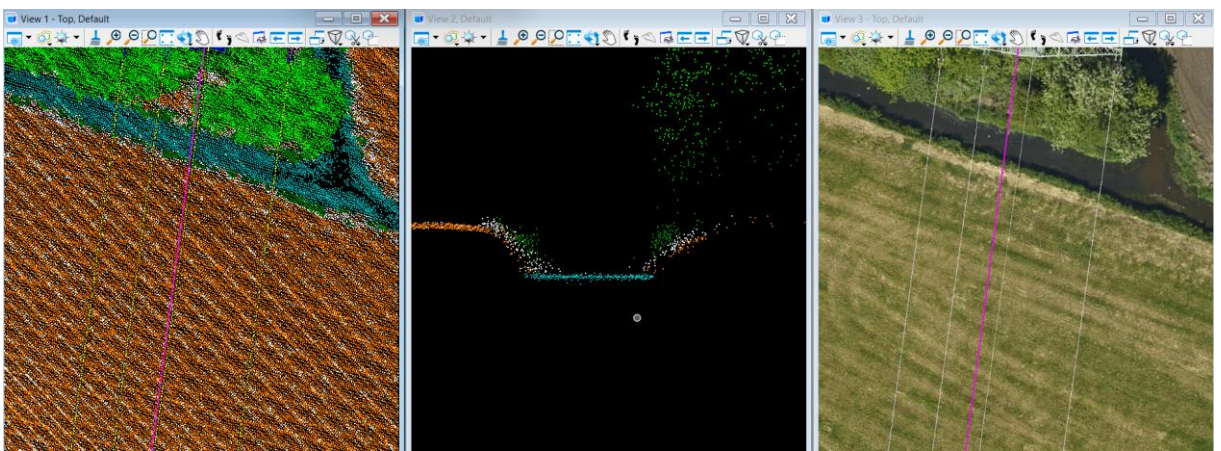


Рис. 2.26 Річка у трьох видах після обробки.

Весь процес ручної класифікації зав'язаний на правильній ідентифікації та правильно зробленому розрізі об'єкту, процес є однотипним та доволі часозатратним. Вище було зроблено акцент на об'єктах, які займають основну частину території, та такі об'єкти як, люди, машини, ліхтарі, дорожні знаки та тому подібні також відіграють важливу роль та вимагають ще більшої уваги при класифікації, так як є малопомітними, та стають причиною помилки у подальших маніпуляціях з проектом.

В загальному весь процес ручної класифікації можна розділити на 5 етапів: ідентифікація об'єкту – ідентифікація класу для цього об'єкту – розріз – вибір інструменту для класифікації – безпосередньо сама класифікація.

2.6 Створення ЦМР території проєкту.

Цифрова модель рельєфу (ЦМР) - це віртуальне відображення поверхні Землі, яке відтворює її топографію та рельєф. Вона представляє собою тривимірну модель, яка показує висоту кожної точки на земній поверхні. ЦМР надає важливу інформацію про структуру території, рельєф, висотні рівні, нахил та інші характеристики поверхні. Вона може використовуватись у класифікації даних лазерного сканування для:

1. Сегментації об'єктів: ЦМР може допомогти виділити окремі об'єкти або структури на земній поверхні, такі як дороги, будівлі, водойми та інші, що полегшує класифікацію даних.
2. Визначення меж зон: з використанням ЦМР можна визначити межі різних зон або областей, що може бути корисним для класифікації лазерних даних, зокрема для визначення різних типів рослинності, ґрунтів або водоймищ.
3. Оцінки нахилу та висоти: аналіз нахилу та висоти поверхні на основі ЦМР може допомогти в розумінні геоморфологічних характеристик території та їх впливу на розподіл різних типів об'єктів.

Інструмент *«Створити редаговану модель»* створює модель поверхні із завантажених лазерних точок, яку можна візуалізувати в TerraModeler. Інструмент автоматично запускає TerraModeler.

Модель поверхні активно пов'язана з завантаженими лазерними точками, що означає, що всі відображення моделі поверхні негайно оновлюються, щоб відобразити будь-яку зміну в класифікації точок. Активне відображення моделі поверхні особливо корисне для перевірки класифікації на місцевості. Найкращим методом відображення для цієї мети є заштрихована поверхня, через *«Відобразити заштриховану поверхню»* в панелі інструментів. Відображення даних використаних інструментів можна побачити на рис. 2.27

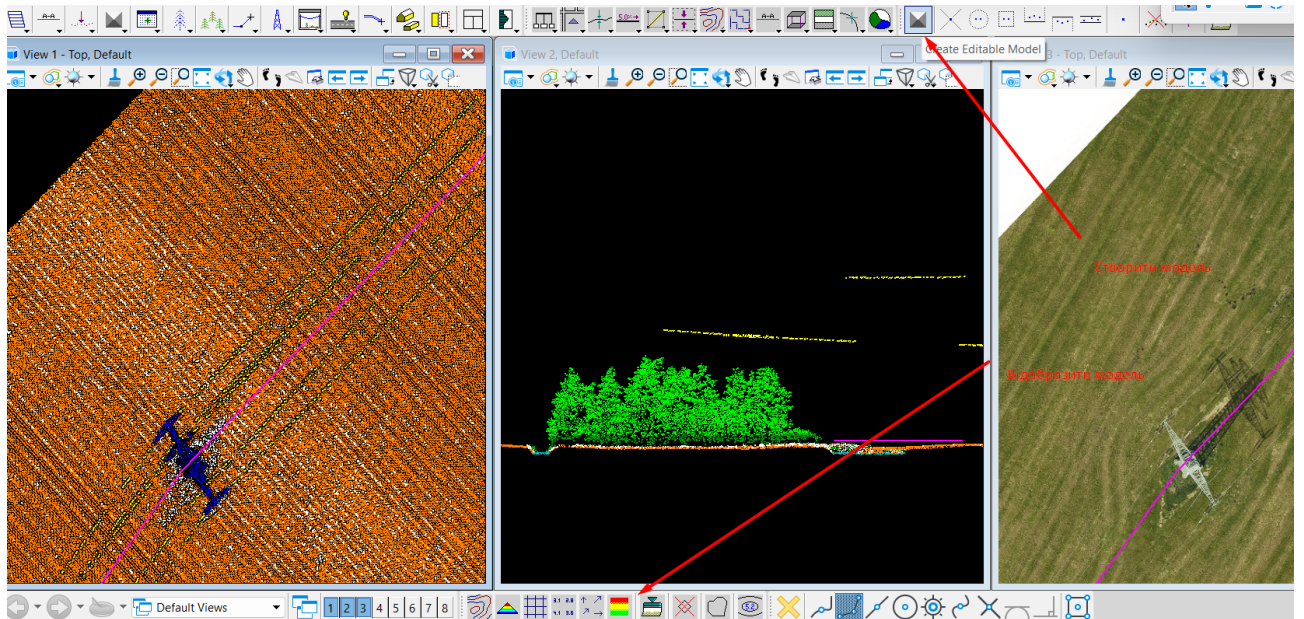


Рис. 2.27 Інструменти для створення та відображення моделі.

Створення моделі вимагає налаштування декількох параметрів: вибір класу, які будуть включені до створення моделі та налаштування масштабування висот, яке є необов'язковим. Зміна коефіцієнту масштабування призводить до моделі з перебільшеними значеннями висоти. Також перед запуском, потрібно ввести ім'я, тип моделі та місце куди буде збережений файл моделі.

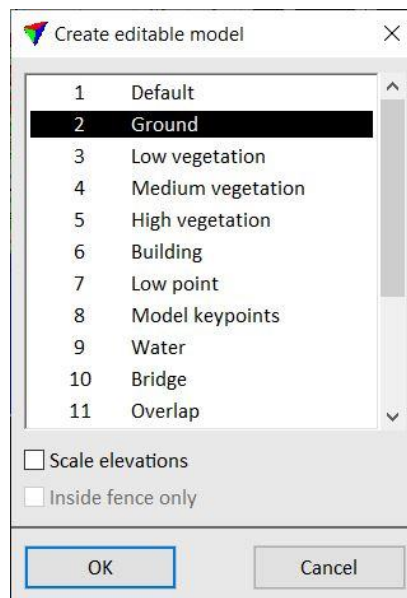


Рис.2.28 Вікно створення ЦМР.

Інструмент «Показати заштриховану поверхню» малює модель поверхні одночасно кольоровою висотою та нахилом трикутника. У методі відображення використовується кольорова модель Hue-Saturation-Value (HSV) для візуалізації поверхні. Значення висоти представлено відтінком кольору, тоді як нахил трикутника визначається значенням кольору. Кут сонця над горизонтом додатково впливає на яскравість кольорів на дисплеї із затемненою поверхнею.

Дисплей тимчасово малюється як растр у файлах CAD, він не записується у файл CAD. Налаштування та описова таблиця значень для відображення наведено на рис. 2.29 та таблиці 2.1

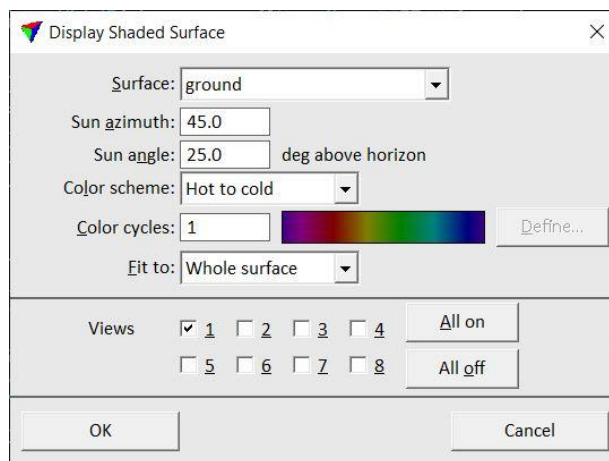


Рис.2.29 Налаштування відображення ЦМР.

Описова таблиця значень для відображення ЦМР.

Налаштування:	Ефект
Поверхня:	Назва моделі поверхні, на яку впливають.
Сонце азимут:	Напрямок, з якого сонце освітлює модель. Нуль - це північ, а кути збільшуються за годинниковою стрілкою.
Кут сонця:	Кут сонця над горизонтом.
Кольорова схема:	<p>Кольорова схема для використання:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Від гарячого до холодного — кольорова схема, що містить пурпурний, червоний, жовтий, зелений, блакитний і синій відтінки. • Земляні тони – кольорова схема, що містить сірі, коричневі, жовті та зелені відтінки з низькою насиченістю. • Вибрані кольори – можливість створити індивідуальну колірну схему.
Колірні цикли:	Кількість кольорових циклів. Значення нуль, щоб створити відображення в градаціях сірого, що показує лише нахил трикутника.

Підходить до:	<p>Визначає, як кольори відповідають значенням висоти:</p> <ul style="list-style-type: none">•Вся поверхня - кольори колірної гами підігнані до діапазону висоти всієї поверхні.•Переглянути вміст – кольори колірної схеми відповідають діапазону висоти, видимому у вигляді файлу САД. Це призводить до дуже детального відображення для великомасштабних переглядів.
Перегляди:	Перегляд(и), у якому відображається поверхня.

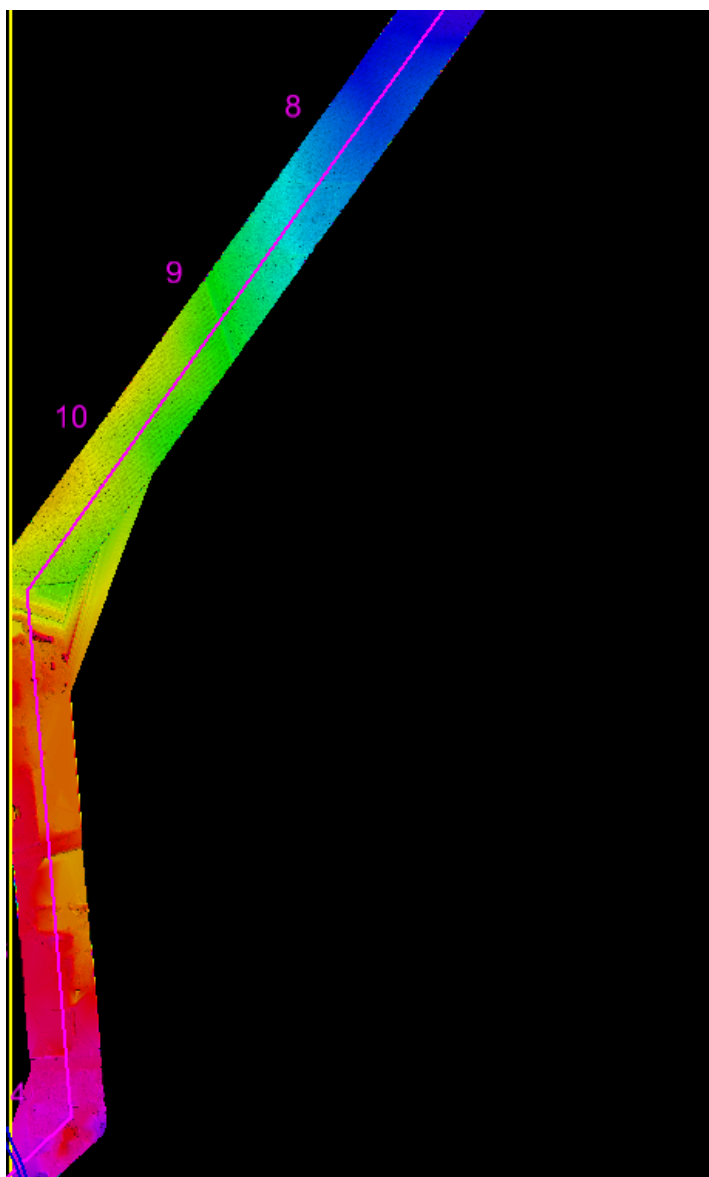


Рис.2.30 Створена ЦМР для блоку із щільною забудовою в нижній частині.

РОЗДІЛ 3. ОЦІНКА РЕЗУЛЬТАТІВ КЛАСИФІКАЦІЇ

					БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА					
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Проект класифікації точок лазерного сканування населеного пункту в Федеративній Республіці Німеччини			Літ.	Арк.	Арквщів
Виконав		Рильник С.В								
Консульт.										
Керівник		Лазоренко Н.Ю								
Зав. каф.		Карпінський Ю.О.						КНУБА, група ГІСТ-20		

3.1 Перевірка коректності класифікації, методом вимкнення окремих класів

Неправильно класифіковані точки в наборі даних лазерного сканування можуть суттєво вплинути на подальші маніпуляції з проектом, особливо якщо ці дані використовуються для створення моделі території або для аналізу географічних ознак. Ось деякі можливі наслідки та маніпуляції, які можуть виникнути:

- Помилкове відображення території: якщо, до прикладу точка даху випадково класифікована як рослинність, це може призвести до неточного відображення географічних особливостей місцевості, зокрема, висоти різних об'єктів.
- Помилкова оцінка обсягу лісів або розподілу рослинності: неправильна класифікація точок може призвести до неточної оцінки кількості дерев або розподілу рослинності на певній території.
- Погіршення точності аналізу: якщо дані використовуються для проведення аналітичних досліджень, таких як виявлення змін в ландшафті або в оцінці зон ризику, помилкова класифікація може призвести до неточних результатів та невірних висновків.
- Неправильна класифікація будівлі як території землі: це може статися, наприклад, коли контур будівлі не чітко розрізняється від сусідньої землі, особливо в лісистих або густо забудованих районах. Такі точки можуть бути помилково визнані як частина землі, а не як структура.
- Помилкова класифікація електроопор як дерев: електроопори можуть мати форму та висоту, схожу на дерева, що може призвести до помилкової класифікації їх як дерев або іншої рослинності.
- Помилкове визначення транспортного засобу як статичного об'єкту: автомобілі або інші транспортні засоби можуть бути помічені як статичні об'єкти на землі, особливо якщо вони стоять без руху під час сканування.

Кожна окрема точка окремого класу грає важливу роль у проекті. Людський фактор в даній роботі має вагомий вплив, тому декілька перевірок в різні способи є обов'язковими в даному проекті. Щоб перевірити кожен окремий клас на

«вильоти» окремих точок за межі об'єкту, функціонал TerraScan дозволяє увімкнути відображення тільки одного або декілька обраних класів. (рис.3.1)

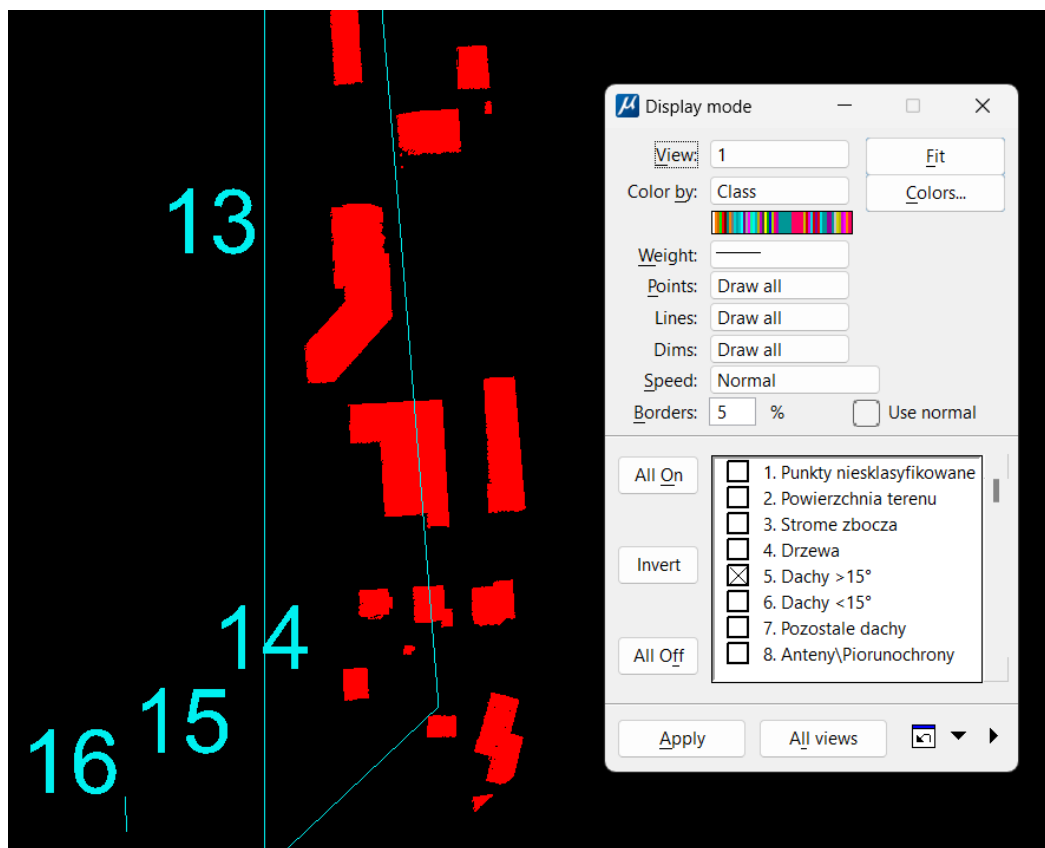


Рис.3.1 У вигляді зверху (view), увімкнене налаштування All Off, тобто вимкнуті відображення усіх класів. Заповнений чек – бокс, тільки навпроти класу з дахами >15°. Відповідні налаштування відобразились на вигляді зверху.

Клас даху, відображає контур будівлі. Часто точки дерев тісно переплітаються з точками будівель. В розрізі, відображення може бути нечітким, через щільність точок. Будівля це зазвичай відображена чітким контуром із щільною хмарою точок. Окремі точки, які виходять за межі контуру будівлі, помилково класифіковані і потребують виправлення (рис.3.2)

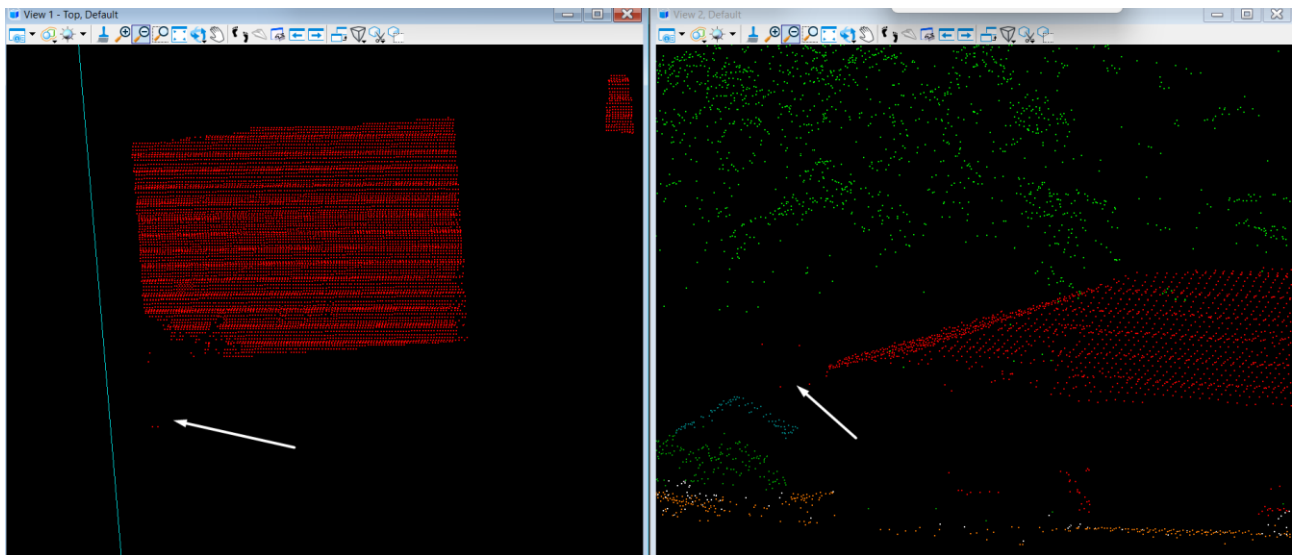


Рис.3.2 Дві помилково класифіковані точки дерев в клас даху.

В такий же метод перевіряються всі об'єкти із чітким контуром і щільністю: теплиці, автомобілі, резервуари, електростанції, дахи $> 15^\circ$, вишки, парковки, дороги.

У розрізі водні об'єкти: озера, річки, при хорошій якості зйомки, мають хорошу щільність і тісно переплітаються з хмарою точок берегу (ґрунту). (Рис.3.3) Щоб виокремити та правильно класифікувати воду, слід вимкнути всі класи окрім води у вигляді 2 та зробити розріз. Рис.3.4

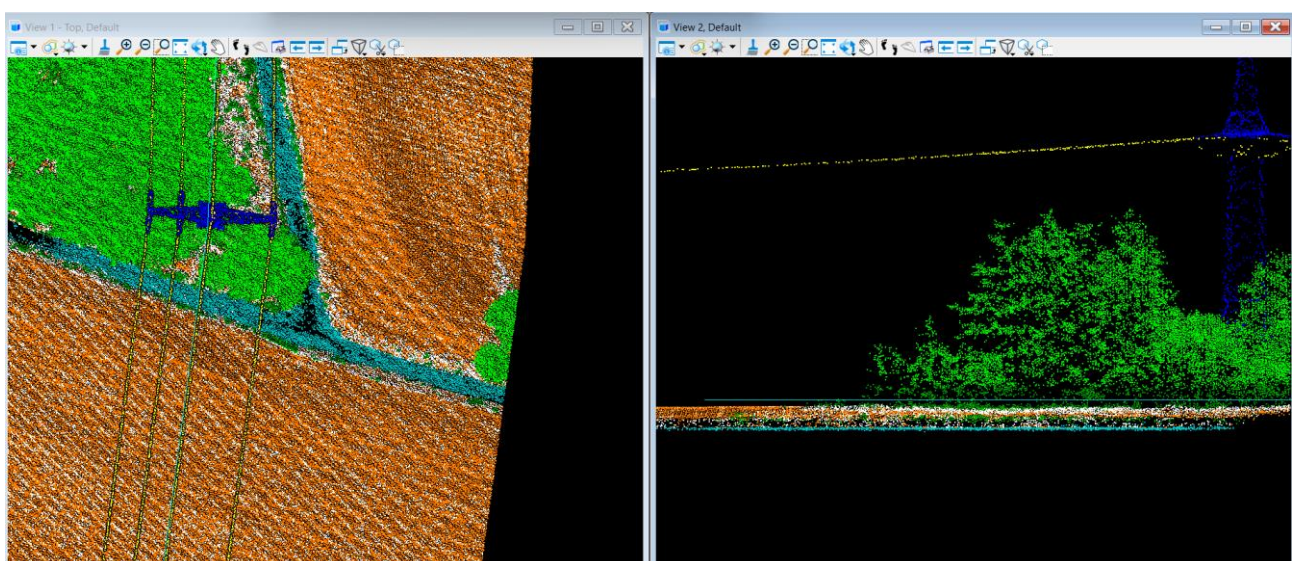


Рис.3.3 Річка у вигляді зверху та у розрізі

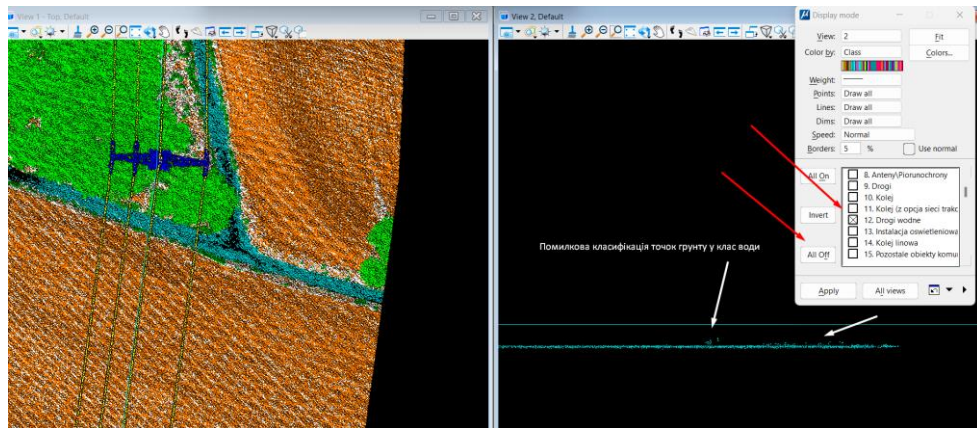


Рис.3.4. Після вимкнення усіх класів, окрім води, чітко помітно помилкову класифікацію. Так як вода повинна бути класифікована в одну суцільну горизонтальну лінію, позначенні точки повинні бути перекласифіковані у клас ґрунту або рослинності.

3.2 Оцінка коректності класифікації хмари точок відносно ЦМР.

Процес створення та налаштування ЦМР було детально описано у пункті 2.6. Так як проєкт вимагає високої точності класифікації для подальших побудов, розрахунків, оцінка коректності відносно ЦМР є необхідним етапом. Відображення класифікованої хмари чітко відображає помилкові точки рельєфу, які не класифіковані або точки які класифіковані не правильно. Модель створюється під кожен блок окремо та переглядається на наявність помилок. Візуально типові помилки можна спостерігати на рисунках: 3.5 та 3.7

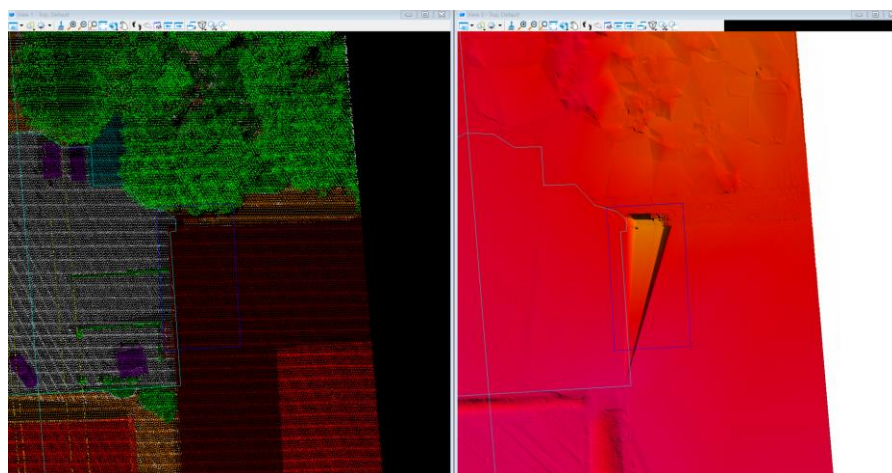


Рис.3.5 Точки землі пробиваються крізь будинок, повинні бути класифіковані у клас будинку відповідного типу.

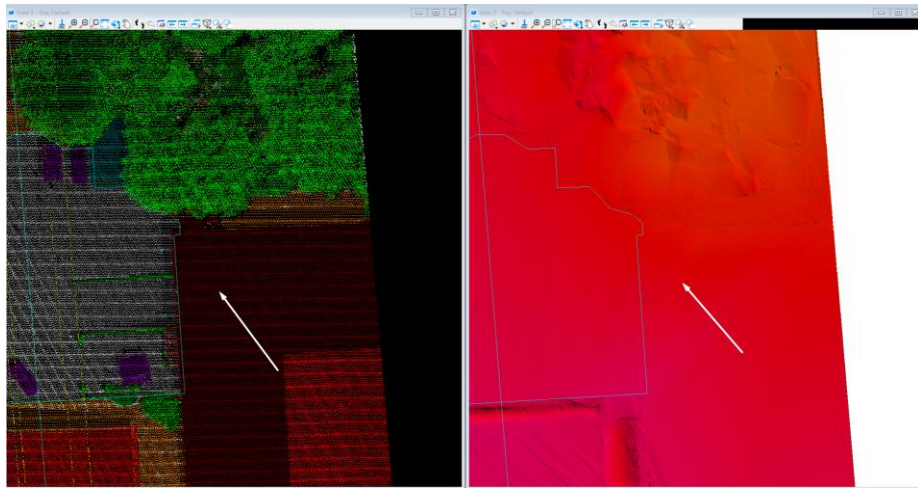


Рис.3.6 Правильне відображення після класифікації.

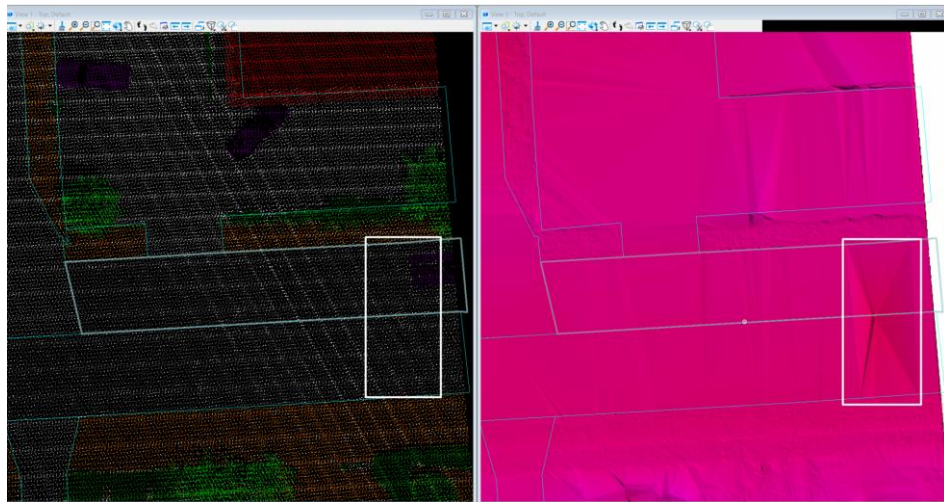


Рис. 3.7 Точки ґрунту пробиваються крізь дорогу.

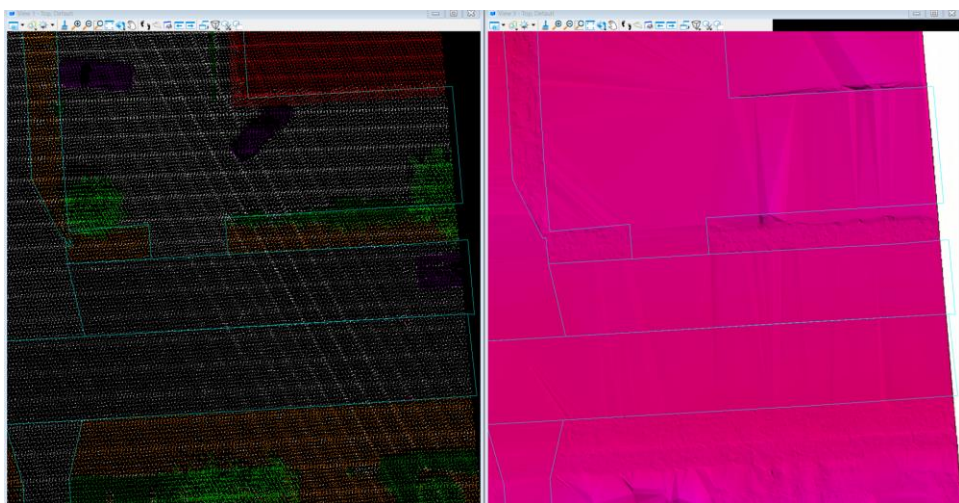


Рис. 3.7 Коректний вигляд моделі після класифікації.

Подібних помилок на фінальному етапі не багато, так як до створення ЦМР проводились перевірки на коректність класифікації в іншому вигляді. Все ж такі помилки суттєві і потребують виправлення.

3.3 Різниця зміни кількості точок вихідного знімання з класифікованою хмарою.

Порівняння різниці у кількості точок між вихідним зніманням і класифікованою хмарою є важливим етапом в оцінці коректності класифікації. Ця різниця може дати важливі відомості про те, наскільки ефективно класифіковано об'єкти на зображеннях.

Перш за все, порівняння кількості точок допомагає виявити потенційні проблеми з втратою інформації або недооцінкою об'єктів в процесі класифікації. Якщо класифікована хмара містить суттєво менше точок, ніж вихідне зображення, це може вказувати на недооцінку або неправильну ідентифікацію деяких об'єктів.

Далі, порівняння кількості точок допомагає виявити можливі перекриття або дублювання об'єктів в класифікованій хмарі. Якщо кількість точок у класифікованій хмарі виявляється більшою, ніж у вихідному зніманні, це може свідчити про проблеми з перекриттям областей або невірну ідентифікацію деяких об'єктів, що може впливати на правильність аналізу даних.

Крім того, порівняння кількості точок може виявити проблеми з втратою деталей чи недостатньою роздільною здатністю класифікації. Якщо класифікована хмара містить значно менше точок, ніж очікувалося, це може вказувати на те, що не ефективно розпізнає дрібні деталі або об'єкти на зображенні.

Class	Description	Count	Min Z	Max Z
1	1. Punkty niesklasyfi...	1 021 998	0.81	35.65
2	2. Powierzchnia te...	2 678 668	0.73	19.81
3	3. Strome zbocza	0	-	-
4	4. Drzewa	1 252 142	5.39	41.74
5	5. Dachy >15°	0	-	-
6	6. Dachy <15°	0	-	-
7	7. Pozostale dachy	0	-	-
8	8. A...\Piorunochrony	0	-	-
9	9. Drogi	0	-	-
10	10. Kolej	0	-	-
11	11. Kolej (z opcja si...	0	-	-
12	12. Drogi wodne	0	-	-

Рис.3.8 Статистика набору даних до класифікації. Загальна кількість ідентифікованих точок 5 231 344.

Class	Description	Count	Min Z	Max Z
1	1. Punkty niesklasyfi...	979 989	0.81	35.65
2	2. Powierzchnia te...	2 069 090	0.73	19.63
3	3. Strome zbocza	0	-	-
4	4. Drzewa	679 963	5.50	35.91
5	5. Dachy >15°	232 617	12.39	26.48
6	6. Dachy <15°	320 297	9.43	26.32
7	7. Pozostale dachy	5 024	10.45	20.88
8	8. A...\Piorunochrony	59	17.70	26.51
9	9. Drogi	72 324	13.06	19.12
10	10. Kolej	0	-	-
11	11. Kolej (z opcja si...	19 097	11.26	11.81
12	12. Drogi wodne	0	-	-

Рис.3.9 Статистика набору даних після класифікації. Загальна кількість ідентифікованих точок 5 231 344.

Отже, кількість ідентифікованих точок до класифікації дорівнює кількості точок після класифікації. Значення коректне, класифікація виконана правильно.

ВИСНОВКИ

Лазерне сканування сучасний інструмент сьогодення для проведення збору геопросторових даних. Техногілія використовується по всьому світу і стрімко розвивається. Змінюються як методи знімання так і масштаби виконання зйомки.

Не менш важливою складовою всього процесу, окрім знімання є обробка даних сканування. Велика кількість продуктів програмного забезпечення представлена на ринку. Обробка даних знімання часозатратний та об'ємний процес, який вимагає як і технологічного забезпечення так і людського ресурсу. На сьогодні інтегровано багато автоматизованих систем для обробки даних сканування, які спрощують і прискорюють процес аналізу та інтерпретації отриманих результатів. Під час виконання завдання були використанні деякі автоматизовані системи – макроси, для класифікації. Однак, незважаючи на це, необхідність в ручній обробці та класифікації даних залишається актуальною, оскільки лише людське око може врахувати всі нюанси та особливості отриманих зображень.

У дипломній роботі було описано всі процеси обробки даних лазерного сканування, починаючи від завантаження даних у програмне забезпечення до аналізу коректності класифікації в декілька етапів.

Підводячи підсумки, всі завдання поставлені на початку роботи, були виконанні:

1. Проаналізовано та оцінено стан предметної сфери, проаналізовано та виявлено прогалини в нормативному забезпеченні, оскільки діюча інструкція з топозйомки не передбачає використання існуючих сучасних методів збирання геопросторових даних для картографування територій, а розроблений новий проект порядку з топозйомки не введено в дію.
2. Відкласифіковано хмару точок в межах проєкту. Проведено класифікацію хмари точок, зібраних в рамках проєкту, для визначення різних об'єктів та характеристик на карті. Хмара точок була відкласифікована по різних класах, таких як:

- Будівлі та споруди;
- Дороги та інші транспортні шляхи;
- Водні об'єкти (ріки, озера);
- Зелені насадження (ліси, парки);
- Постійні/не постійні об'єкти;
- ЛЕП.

3. Проведено аналіз коректності класифікації в декілька етапів. На різних етапах перевірки було ви явлено області, де класифікація потребувала виправлення. В результаті отримали детальну картографічну модель території з чітко відокремленими об'єктами, що дозволяє краще зрозуміти структуру місцевості та планувати її використання. Це може включати створення тривимірних моделей, точних карт з зазначенням типів об'єктів, та аналіз використання територій.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. COMPARISON OF SOFTWARE FOR AIRBORNE LASER SCANNING DATA PROCESSING IN SMART CITY APPLICATION
https://www.researchgate.net/publication/335956438_COMPARISON_OF_SOFTWARE_FOR_AIRBORNE_LASER_SCANNING_DATA_PROCESSING_IN_SMART_CITY_APPLICATIONS [Інтернет джерело]
2. Офіційний сайт компанії TVIS
<https://tvis.com.ua/ua/> [Інтернет джерело]
3. Порядок топографічної зйомки у масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 та 1:500
<https://land.gov.ua/wp-content/uploads/2021/12/%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B5%D0%BA%D1%82.pdf> [Інтернет джерело]
4. TerraScan User Guide
<https://terrasolid.com/guides/tscanuav/toolcreateeditablemodel.html> [Інтернет джерело]
5. MicroStation CAD for Infrastructure Design
<https://www.bentley.com/software/microstation/> [Інтернет джерело]
6. TerraModeler User Guide
<https://terrasolid.com/guides/tmodel/index.html> [Інтернет джерело]
7. Journal of Photogrammetry and Remote Sensing
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0924271606000293> [Інтернет джерело]
8. Leica - geosystem
<https://leica-geosystems.com/> [Інтернет джерело]
9. Trimble
<https://www.trimble.com/en> [Інтернет джерело]
10. FARO Technologies
<https://www.faro.com/> [Інтернет джерело]
11. Leica RTC 360 User Manual
<https://www.manualslib.com/manual/1516901/Leica-Rtc360.html> [Інтернет джерело]

12. Типи лідара
<http://desktop.arcgis.com/ru/arcmap/10.3/manage-data/las-dataset/types-of-lidar.htm> [Інтернет джерело]
13. Інструкції з охорони праці
<https://www.sop.com.ua/article/183-ohoron-prats-pri-robot-z-kompyuterom>
[Інтернет джерело]
14. Environmental information systems
[https://www.eea.europa.eu/help/glossary/eea-glossary/digital-terrain-model#:~:text=Digital%20Terrain%20Models%20\(DTM\)%20sometimes,relations%20to%20a%20rectangular%20grid.](https://www.eea.europa.eu/help/glossary/eea-glossary/digital-terrain-model#:~:text=Digital%20Terrain%20Models%20(DTM)%20sometimes,relations%20to%20a%20rectangular%20grid.) [Інтернет джерело]
15. Def C, digital-elevation-model.
<https://def-c.com/en/services/digital-elevation-model-dem-and-dtm/> [Інтернет джерело]
16. Mathworks
<https://se.mathworks.com/help/vision/point-cloud-processing.html> [Інтернет джерело]
17. Autodesk.com
<https://www.autodesk.com/solutions/point-clouds> [Інтернет джерело]
18. AERIAL POINT CLOUD CLASSIFICATION WITH DEEP LEARNING AND MACHINE LEARNING ALGORITHMS
<https://isprs-archives.copernicus.org/articles/XLII-4-W18/843/2019/isprs-archives-XLII-4-W18-843-2019.pdf> [Інтернет джерело]
19. CLASSIFICATION OF LiDAR POINT CLOUDS BASED ON THE 2D CELLS
<https://a-a-r-s.org/proceeding/ACRS2019/ThE1-4.pdf> [Інтернет джерело]
20. Pro.arcgis.com
<https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/help/data/las-dataset/classify-a-point-cloud-with-deep-learning.htm> [Інтернет джерело]
21. Thecrossproduct
<https://www.thecrossproduct.com/en/blog/lidar-3d-point-clouds-and->

- [more/lidar-la-classification-des-nuages-de-points-une-%C3%A9tape-cl%C3%A9](#) [Інтернет джерело]
22. Benewake.com/
https://en.benewake.com/AD2SX3/index.aspx?proid=843&gad_source=1&gclid=Cj0KCQjw0ruyBhDuARIsANSZ3woBfY2RdkTvgu-OVTwcGx25-sSfHB4Qa3s_vAx6gvSsLM9c1L4RioaAvyAEALw_wcB [Інтернет джерело]
23. ЛІДАРИ: СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ У СФЕРІ ГЕОДЕЗІЇ ТА ЗЕМЛЕУСТРОЮ
[https://journals.indexcopernicus.com/api/file/viewByFileId/885031#:~:text=%D0%92%D1%96%D0%B4%D0%BE%D0%BC%D0%BE%2C%20%D1%89%D0%BE%20LiDAR%20\(Light%20Induced,%D1%81%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%B4%D0%BE%2D%20%D0%B2%D0%B8%D1%89%D0%B0%D1%85%20%5B5%5D.](https://journals.indexcopernicus.com/api/file/viewByFileId/885031#:~:text=%D0%92%D1%96%D0%B4%D0%BE%D0%BC%D0%BE%2C%20%D1%89%D0%BE%20LiDAR%20(Light%20Induced,%D1%81%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%B4%D0%BE%2D%20%D0%B2%D0%B8%D1%89%D0%B0%D1%85%20%5B5%5D.) [Інтернет джерело]
24. Aero3d.ua
<https://aero3d.ua/3d-skanuvannia/lazerne-skanuvannja/> [Інтернет джерело]
25. Керівництво користувача MicroStation
26. Як отримати цифрову модель рельєфу за допомогою ArcScene (ArcGIS)
<https://amplzem.wordpress.com/2020/10/15/3d/> [Інтернет джерело]
27. Створення цифрових моделей рельєфу на основі даних аерофотознімання
https://www.academia.edu/90719061/%D0%A1%D1%82%D0%B2%D0%BE%D1%80%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8F_%D1%86%D0%B8%D1%84%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B8%D1%85_%D0%BC%D0%BE%D0%B4%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%B9_%D1%80%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D1%94%D1%84%D1%83_%D0%BD%D0%B0_%D0%BE%D1%81%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D1%96_%D0%B4%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%85_%D0%B0%D0%B5%D1%80%D0%BE%D1%84%D0%BE%D1%82%D0%BE%D0%B7%D0%BD%D1%96%D0%BC%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8F [Інтернет джерело]
28. Дистанційне зондування землі
<https://eos.com/uk/blog/lidar-ta-radar/> [Інтернет джерело]

29. GEOSPATIAL DATA & IMAGERY

https://www.l3harris.com/all-capabilities/geospatial-data-imagery?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=sas-gsn-mapping-services-world-sseo-search&gad_source=1&gclid=Cj0KCQjw0ruyBhDuARIsANSZ3wobKQPYQ793daaWwAf5lHjdLprXAz2Xq2d-u3II5ngfVHg-TWrOL7QaAnBZEALw_wcB [Інтернет джерело]

30. Цифрова модель місцевості

<https://culver.aero/uk/products/cifrova-model-miscevosti> [Інтернет джерело]