

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БУДІВНИЦТВА І
АРХІТЕКТУРИ**

**Факультет геоінформаційних систем та управління територіями
Кафедра геоінформатики і фотограмметрії**

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до дипломного проекту
освітньо-кваліфікаційного рівня бакалавра
на тему:

«Геоінформаційний аналіз лідарних даних для моніторингу ЛЕП»

Виконав: студент IV курсу,
групи ГСТ-20
за напрямком підготовки
19 «Архітектура і будівництво»
193 «Геодезія та землеустрій»
Приходько Н.С.
(прізвище та ініціали студента)
Керівник:
Горковчук Ю.В. к.т.н.
(прізвище та ініціали, науковий
статус, посада)
Рецензент:
Нестеренко О.В.
(прізвище та ініціали)

КИЇВ-2024

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ

Факультет: Геоінформаційних систем та управління територіями

Кафедра: геоінформатики і фотограмметрії

Освітньо-кваліфікаційний рівень: бакалавр

Напрямок підготовки: 193 “Геодезія та землеустрій”

Спеціальність: 6.08010105 “Геоінформаційні системи і технології”

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри проф.
Карпінський Ю.О.

(підпис)

«____» _____ року

З А В Д А Н Н Я НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ СТУДЕНТУ

Приходько Назарій Сергійович

(прізвище, ім'я, по батькові студента)

1.Тема проекту (роботи):

Геоінформаційний аналіз лідарних даних для моніторингу ЛЕП

Керівник проекту (роботи):

к.т.н. Горковчук Ю.В.

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від “25” квітня 2024року
№712.2

2.Строк подання студентом проекту (роботи) 24.05.2024

3.Вихідні дані до проекту: далі лідарного сканування лінії електропередачі на території країни Норвегії, поблизу міста Берг на східному узбережжі.

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

ВСТУП

РОЗДІЛ 1. ГЕОІНФОРМАЦІЙНИЙ МОНІТОРИНГ ЛЕП

- 1.1 Визначення та класифікація ЛЕП.
- 1.2 Завдання моніторингу ЛЕП.
- 1.3 Гіс у ЛЕП.
- 1.4 Лідарне знімання та його переваги для моніторингу ЛЕП.

Висновки до розділу 1

РОЗДІЛ 2 МЕТОДОЛОГІЯ МОНІТОРИНГУ ЛЕП ЗА ДАНИМИ ЛІДАРНОГО ЗНІМАННЯ

- 2.1 Методика моніторингу ЛЕП.
- 2.2 Оброблення лідарних даних при моніторингу ЛЕП.
 - 2.2.1. Огляд інструментальних засобів для класифікації лідарних даних.

Висновки до розділу 2

РОЗДІЛ 3 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ МОНІТОРИНГУ ЛЕП ЗА ДАНИМИ ЛІДАРНОГО ЗНІМАННЯ Методика збору вихідних даних

- 3.1 Опис тестових даних
- 3.2 Виконання моніторингу ЛЕП за даними лідарного знімання Висновки до розділу 3

ВИСНОВОК

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

ДОДАТКИ

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

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

7. Дата видачі завдання

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
	ВСТУП	26.02.2024	
1	РОЗДІЛ 1. ГЕОІНФОРМАЦІЙНИЙ МОНІТОРИНГ ЛЕП	19.03.2024	
2	РОЗДІЛ 2. МЕТОДОЛОГІЯ МОНІТОРИНГУ ЛЕП ЗА ДАНИМИ ЛІДАРНОГО ЗНІМАННЯ	16.04.2024	
3	РОЗДІЛ 3 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ МОНІТОРИНГУ ЛЕП ЗА ДАНИМИ ЛІДАРНОГО ЗНІМАННЯ	15.05.2024	
	Висновки	23.05.2024	

	Розробка графічного матеріалу	23.05.2024	
	Подача проєкту на попередній захист та рецензування	24.05.2024	

Студент _____

(підпис)

Приходько Н.С.

(прізвище та ініціали)

Керівник проєкту (роботи): _____

(підпис)

Горковчук Ю.В.

(прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1 ГЕОІНФОРМАЦІЙНИЙ МОНІТОРИНГ ЛЕП.....	9
1.1 Визначення та класифікація ЛЕП	9
1.2 Завдання моніторингу ЛЕП	13
1.3 ГІС у ЛЕП.....	16
1.4 Лідарне знімання та його переваги для моніторингу ЛЕП.	19
Висновки до розділу 1	23
РОЗДІЛ 2 МЕТОДОЛОГІЯ МОНІТОРИНГУ ЛЕП ЗА ДАНИМИ ЛІДАРНОГО ЗНІМАННЯ.....	26
2.1 Методика моніторингу ЛЕП.....	26
2.2 Оброблення лідарних даних при моніторингу ЛЕП.....	37
2.2.1 Огляд інструментальних засобів для класифікації лідарних даних	40
Висновки до розділу 2	48
РОЗДІЛ 3 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ МОНІТОРИНГУ ЛЕП ЗА ДАНИМИ ЛІДАРНОГО ЗНІМАННЯ. Методика збору вихідних даних	50
3.1 Опис тестових даних.....	50
3.2 Виконання моніторингу ЛЕП за даними лідарного знімання.....	64
Висновки до розділу 3	69
ВИСНОВКИ.....	70
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ:.....	71
ДОДАТКИ.....	73

ВСТУП

У сучасному світі електроенергетика відіграє важливу роль у забезпеченні сталого розвитку суспільства та економіки. Лінії електропередачі (ЛЕП) є основою інфраструктури електропостачання, які забезпечують передачу електричної енергії від виробників до споживачів.

Для збереження і надійної експлуатації ЛЕП необхідний постійний моніторинг та технічне обслуговування. З метою підвищення ефективності та надійності моніторингу ЛЕП використовуються сучасні технології геоінформаційного моніторингу, зокрема лідарне знімання. Лідар (від англ. Light Detection and Ranging) - це технологія збору геопросторових даних, яка використовує лазерне випромінювання для створення точного цифрового моделювання поверхні.

Використання лідару для моніторингу ЛЕП дозволяє отримувати детальні дані про їхню геометрію та стан, виявляти пошкодження, а також прогнозувати можливі ризики аварій. У дипломному проекті досліджується інтеграція лідарного знімання у геоінформаційний моніторинг ЛЕП з метою підвищення ефективності та надійності обслуговування електромережі. Дипломний проект складається з трьох розділів, які включають аналіз сучасного стану технологій моніторингу ЛЕП, розробку методології моніторингу з використанням лідарного знімання та практичну реалізацію моніторингу на основі отриманих даних.

Дипломний проект спрямований на розробку та впровадження ефективних методів моніторингу ЛЕП, що базуються на передових технологіях геоінформаційного аналізу та обробки лідарних даних. Результати дослідження можуть бути корисними для підвищення ефективності та надійності експлуатації електромережі та забезпечення сталого розвитку електроенергетики.

РОЗДІЛ 1 ГЕОІНФОРМАЦІЙНИЙ МОНІТОРИНГ ЛЕС

РОЗДІЛ 1 ГЕОІНФОРМАЦІЙНИЙ МОНІТОРИНГ ЛЕП

1.1 Визначення та класифікація ЛЕП

Визначення ЛЕП

Повітряна лінія електропередачі – електроустановка, призначена для передавання електричної енергії по проводах, розташованих просто неба і прикріплених за допомогою ізоляторів та арматури до опор або кронштейнів і стояків на інженерних спорудах.

Як і будь-яка інженерна споруда, повітряні лінії електропередач мають свої специфічні конструктивні характеристики. До них насамперед можна віднести довжину прольотів, стрілу провисання, відстань від проводу до поверхні землі або до будь-яких інших будівель або об'єктів, над якими проходить лінія, тобто її габарити. Розглянемо більш докладно кожен із цих параметрів.

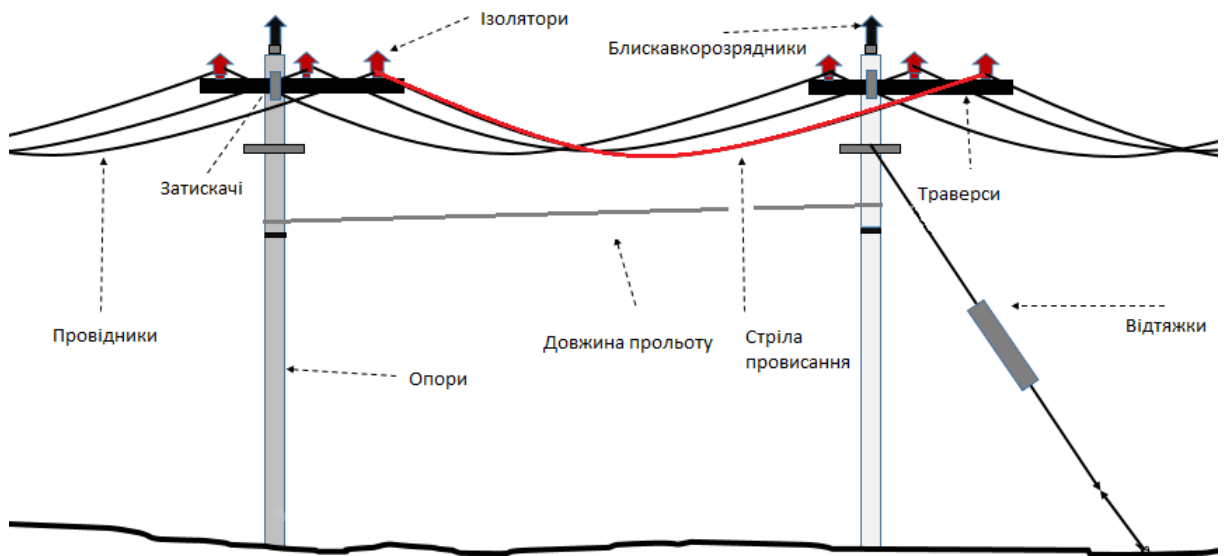


Рис. 1.1. Схема лінії електропередач.

Довжину прольоту становить відстань між двома сусідніми проміжними опорами ЛЕП. Ця характеристика залежить від напруги на лінії: для ЛЕП з напругою 0,4 кВ вона становить від 30 до 50 метрів. Більш точно можна

визначити цю величину, знаючи тип використовуваних опор, марку та перетин проводу, а в деяких випадках і природні умови даної місцевості.

Стріла провисання – один із конструктивних параметрів повітряних ліній електропередач, що є вертикальною прямою, проведеною від уявної лінії з'єднання точок кріплення проводів на сусідніх опорах до нижньої точки провисання проводів між цими опорами. Фактично, ця величина також залежить від типу опор, марки та перетину проводу та клімату регіону, в якому проведена лінія електропередачі [1].

Провідники: металеві кабелі, які передають електричний струм. Вони зазвичай складаються з міді, алюмінію та сталі.

Ізолятори: матеріали, які використовуються для відокремлення провідників від опор та забезпечення електричної безпеки.

Опори: Це конструкції, на яких розміщені провідники. Вони можуть бути зроблені з дерева або сталі та служать для утримання провідників на певній висоті.

Траверси та затискачі: елементи, які підтримують та фіксують провідники та ізолятори на опорах.

Відтяжки: додаткові елементи, які забезпечують стійкість опор у випадку бокових навантажень або вітру.

Блискавкорозрядники: Це пристрої, що захищають лінії від ураження блискавкою, відводячи її струм у безпечне місце

Класифікація ЛЕП

Для повітряних ліній змінного струму прийнята наступна шкала класів напруги : змінне — 0,4, 6, 10, (20), 35, 110, 150, 220, 330, 400, 500, 750 і 1150 кВ; постійне — 150, 400 і 800 кВ.

наддалекі ПЛ напругою 500 кВ і вище (призначені для зв'язку окремих енергосистем)

магістральні ПЛ напругою 220 і 330 кВ (призначені для передачі енергії від потужних електростанцій, а також для зв'язку енергосистем і об'єднання

електростанцій усередині енергосистем — приміром, сполучають електростанції з розподільними пунктами)

розподільні ПЛ напругою 35, 110 і 150 кВ (призначені для електропостачання підприємств і населених пунктів великих районів — сполучають розподільні пункти із споживачами)

- ПЛ 20 кВ і нижче, що підводять електроенергію до споживачів
- ПЛ до 1000 В (ПЛ нижчого класу напруги)
- ПЛ вище 1000 В
- ПЛ 1-35 кВ (ПЛ середнього класу напруги)
- ПЛ 110-220 кВ (ПЛ високого класу напруги)
- ПЛ 330-500 кВ (ПЛ надвисокого класу напруги)
- ПЛ 750 кВ і вище (ПЛ ультрависокого класу напруги)[2]

Розміри охоронних зон електричних мереж.

Охоронні зони електричних мереж встановлюються:

уздовж повітряних ліній електропередачі - у вигляді земельної ділянки та повітряного простору, обмежених вертикальними площинами, що віддалені по обидва боки лінії від крайніх проводів за умови їх невідхиленого положення на таку відстань по горизонталі:

- 2 метри - до 1 кВ;
- 10 метрів - 3-20 кВ;
- 15 метрів - 35 кВ;
- 20 метрів - 110 кВ;
- 25 метрів - 150 кВ, 220 кВ;
- 30 метрів - 330 кВ, 400 кВ, 500 кВ;
- 40 метрів - 750 кВ;

уздовж переходів повітряних ліній електропередачі через водні об'єкти (ріки, канали, озера, ставки тощо) - у вигляді повітряного простору над поверхнею водного об'єкта, обмеженого вертикальними площинами, що віддалені по обидва боки лінії від крайніх проводів за умови їх невідхиленого положення на відстань:

- 100 метрів - для водних об'єктів, через які проходять внутрішні водні шляхи, віднесені в установленому порядку до категорії судноплавних;

- передбачену для встановлення охоронних зон уздовж повітряних ліній електропередачі, що проходять по суші, - для всіх інших водних об'єктів;

за периметром трансформаторних підстанцій, розподільних пунктів та пристроїв, призначених для передачі та розподілу електричної енергії, на відстань 3 метри від огорожі, краю фундаменту неогороженої споруди або стояків щоглової підстанції;

здозвж підземних кабельних ліній електропередачі (крім кабельних ліній електропередачі напругою до 1 кВ, прокладених у місцях під тротуарами) - у вигляді земельної ділянки, обмеженої вертикальними площинами, що віддалені по обидва боки лінії від крайніх кабелів, а також стін кабельного колодязя чи іншої підземної або наземної кабельної споруди (опори) на відстань 1 метра;

уздовж підземних кабельних ліній електропередачі до 1 кВ, прокладених у місцях під тротуарами, - у вигляді земельної ділянки, обмеженої вертикальними площинами, що віддалені по обидва боки лінії від крайніх кабелів на відстань 0,6 метра у напрямку будинків і споруд та на відстань 1 метра у напрямку проїзної частини вулиці;

уздовж підводних кабельних ліній електропередачі - у вигляді водного простору від поверхні води до дна, обмеженого вертикальними площинами, що віддалені по обидва боки лінії від крайніх кабелів на відстань 100 метрів [3].

Для ділянок кабельних ліній електропередачі, що прокладені в тунелях, галереях, на естакадах, стінах, мостах чи в інших підземних або наземних кабельних спорудах, а також для ліній із захищеними, ізольованими та самоутримувальними ізольованими проводами, що прокладені на фасадах будинків, необхідні відстані і заходи захисту встановлюються відповідно до проектів улаштування таких ліній згідно з Правилами улаштування електроустановок, затвердженими наказом Міненергуюгільля від 21 липня 2017 р. № 476.

Для об'єктів будівництва, які у законний спосіб (наявність відповідних дозволів) розташовані в межах охоронних зон електричних мереж, повинні бути забезпечені відповідні відстані, а також здійснені заходи захисту, передбачені Правилами улаштування електроустановок, затвердженими наказом Міненерговугілля від 21 липня 2017 р. № 476 [4].

1.2 Завдання моніторингу ЛЕП

Сьогодні інспекції лінії електропередач БПЛА мають дві загальні мети: трек моніторинг коридору та моніторинг стану частин вежі. Трек моніторинг коридору – це система спостереження та аналізу стану маршруту лінії для виявлення будь-яких пошкоджень, відхилень або потенційних проблем.

Моніторинг стану частин вежі в основному для моніторингу локального стану, такого як самодетонація, пошкодження та слід спалаху ланцюга ізолятора, різні види дротяних затискачів і антивібраційних пошкоджень молотка, дефектів, деформаційного руху та пошкодження споруд блискавкозахисту. Це можливість швидко знайти місце несправності, забезпечити технічне обслуговування на рівні штату та усунути несправність.

Онлайн-моніторинг ЛЕП – система, яка здійснює постійний або регулярний збір та аналіз даних про стан ліній електропередачі в режимі реального часу, також є потужним інструментом для максимізації можливостей лінії електропередачі. Навантажувальна здатність лінії електропередачі визначається під час її проектування. Щоб гарантувати надійність мережі, система передачі потребує здатності до реагування на аварійні ситуації. На основі параметрів моніторингу лінії електропередачі можна прогнозувати навантаження та оцінювати динамічну пропускну здатність повітряних ліній електропередачі в реальному часі. Як правило, динамічний рейтинг –це система оцінки, яка може змінюватися з часом або в залежності від різних факторів, забезпечує вищу пропускну здатність лінії у 98% випадків, а також забезпечує щонайменше 15-30% додаткової пропускну здатності у понад 95% випадків. Таким чином, ми можемо використовувати лінії електропередач більш ефективно, плануючи та

експлуатуючи передачу електроенергії в динаміці, а не на основі статичних, консервативних припущень.

У наш час лінії електропередач стають довшими та більш розосередженими; деякі сегменти можуть проходити через райони зі складним рельєфом місцевості. Як наслідок, обслуговування ліній електропередач стає дедалі складнішим, і більшість робіт з моніторингу та нагляду за лініями електропередач виконуються людьми, мобільними роботами або гелікоптерами. Всі ці методи мають високу вартість та високу трудомісткість. Крім того, стан лінії електропередачі неможливо постійно контролювати, і всі лінії електропередачі не можуть бути охоплені одночасно [5].

Як працює моніторинг ліній електропередач з використанням технологій лідарного знімання LiDAR

LiDAR (скорочення від Light Detection and Ranging) використовує світло у формі імпульсного лазера для вимірювання діапазонів (змінних відстаней) до Землі. Лідар націлює лазер на область і вимірює час, протягом якого відбите світло повертається до приймача. Світлові імпульси допомагають генерувати точну тривимірну інформацію про форму досліджуваної ділянки та характеристики її поверхні.

Під час інспекцій ліній електропередач LiDAR зазвичай прикріплюється до безпілота, який потім охоплює та вимірює зону огляду кількома польотами, що дозволяє створювати хмари точок високої щільності. Чим більша кількість вимірних точок, зібраних за допомогою інспекції лінії електропередач з використанням технологій LiDAR, тим більше інформації можна отримати з результируючої хмари точок [6].

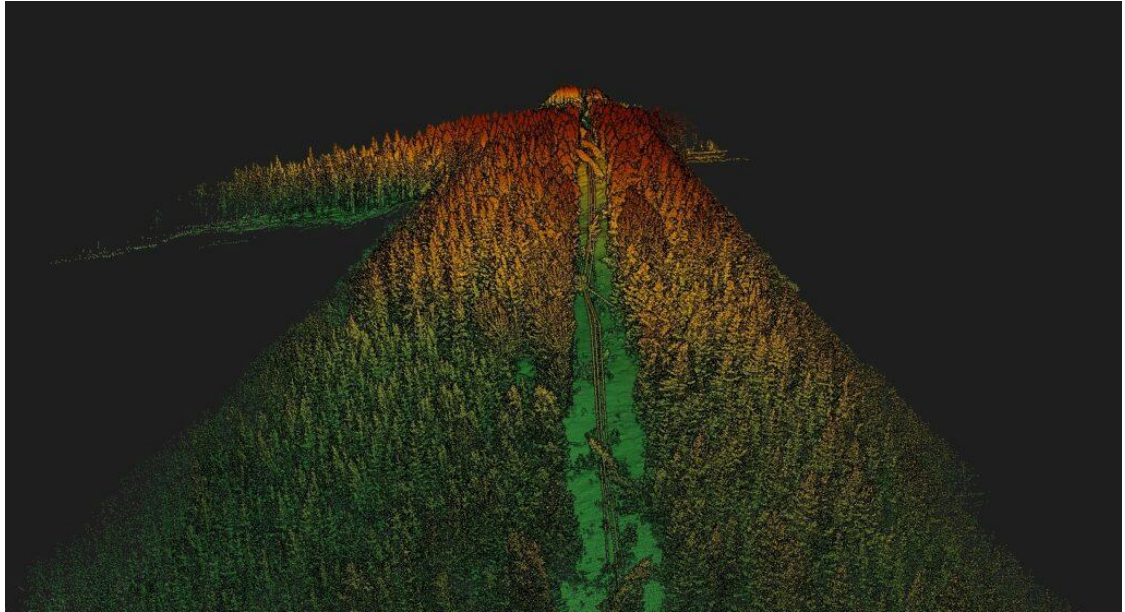


Рис. 1.2.1. Приклад тривимірної хмари точок на основі вимірювань LiDAR.

Технологія LiDAR (Light Detection and Ranging) виявилася дуже потужним інструментом для отримання точних геопросторових даних. Проте, як і будь-яка інша технологія, вона має свої переваги і недоліки.

Переваги технології LiDAR:

- Висока точність: LiDAR забезпечує високу точність вимірювань, що робить його ідеальним для використання в геодезії, картографії та інженерії.
- Великий обхват: LiDAR може охоплювати великі території швидко і ефективно, що дозволяє збирати великий обсяг даних за короткий час.
- Незалежність від освітлення: LiDAR працює незалежно від джерела освітлення, тому він ефективний як у денний, так і в нічний час, а також у будь-яких погодних умовах.
- Можливість отримання тривимірної інформації: Лазерне сканування дозволяє отримувати точні тривимірні моделі територій, що корисно для багатьох галузей, включаючи архітектуру, геологію та міське планування.
- Ефективність у важкодоступних місцях: LiDAR може бути використаний для дослідження важкодоступних або небезпечних місць, таких як гірські регіони, ліси чи водні тіла.

Недоліки технології LiDAR:

- Високі витрати: обладнання LiDAR досить дороге, а витрати на збір та обробку даних також можуть бути значними.
- Потреба у спеціальному обладнанні та кваліфікованих спеціалістах: використання LiDAR вимагає наявності спеціального обладнання та кваліфікованих фахівців для збору та обробки даних.
- Складність обробки даних: дані, отримані з LiDAR, можуть бути об'ємними і складними для обробки, що може вимагати великих обсягів часу та ресурсів.
- Чутливість до погодних умов: погодні умови, такі як туман, дощ або сильний вітер, можуть негативно впливати на якість даних, отриманих LiDAR.

Хоча технологія LiDAR має свої обмеження та вимагає певних витрат, її переваги, такі як висока точність та можливість отримання тривимірної інформації, роблять її незамінним інструментом у багатьох галузях, від науки до промисловості.

1.3 ГІС у ЛЕП

Геоінформаційна система — сучасна комп'ютерна технологія, що дозволяє поєднати модельне зображення території з інформацією табличного типу. Також, під геоінформаційною системою розуміють систему управління просторовими даними та асоційованими з ними атрибутами. Конкретніше, це комп'ютерна система, що забезпечує можливість використання, збереження, редагування, аналізу та відображення географічних даних.

ГІС розрізняють за предметною областю інформаційного моделювання, наприклад, міські ГІС, або муніципальні ГІС, природоохоронні ГІС. Найпоширеніші ГІС — земельно-інформаційні системи. Геоінформаційні системи та комп'ютерне моделювання широко використовуються гірничодобувними підприємствами, геологічними організаціями, консалтинговими фірмами, проектними та науково-дослідними установами. Проблема орієнтації ГІС визначається розв'язуваними задачами в ній, серед них інвентаризація ресурсів (в тому числі кадастр), аналіз, оцінка, моніторинг, управління і планування,

підтримка прийняття рішень. Інтегровані ГІС, ІГІС (integrated GIS, IGIS) поєднують функціональні можливості ГІС і систем цифрової обробки зображень (даних дистанційного зондування) в єдиному інтегрованому середовищі.

Геоінформаційні системи в електроенергетиці давно набули поширення і отримали статус інфраструктурної технології. Це пов'язано з тим, що майже вся інформація, яка використовується на електроенергетичних підприємствах, має просторову прив'язку у зв'язку з географічно розподіленою природою електричних мереж та інфраструктури. В загальному ГІС електроенергетики – інформаційний ресурс, що об'єднує різноманітні картографічні матеріали, космічні знімки, векторні шари, бази даних, має широкі функціональні можливості (збір, зберігання, об'єднання, обробка, складні обчислення, візуалізація та аналіз географічно кодованої інформації) і доступна по локальній мережі або через мережу Інтернет.

ГІС, як службова підсистема, має спеціальні картографічні матеріали (лінії електропередач, кабельні лінії, підстанції і їх бази даних, кадастрові ділянки, інші об'єкти електроенергетики (рис.1.3.1)), що дозволяє приймати ефективні управлінські рішення і здійснювати контроль їх виконання засобами GPS та відео моніторингу (рис.1.3.1).

Геоінформаційна система в електроенергетиці може використовуватись як інструмент реалізації концепції Smart Grid [7]. Термін «Smart Grid» і сама технологія народилася та набула найбільшого поширення в США. Однак сьогодні цей термін став загальноприйнятим і його використовують у всьому світі. Smart Grid (інтелектуальні мережі) – це назва глобальної технології розвитку електроенергетичної системи всіх рівнів, або концепція організації «розумної» енергетичної системи. Smart Grid передбачає об'єднання енергетичної мережі, споживачів і постачальників електроенергії в єдину автоматизовану систему, яка в реальному часі дозволяє відстежувати і контролювати режими роботи кожного з компонентів мережі: від лічильника електроенергії в будинку до електростанцій. Причому в даній системі повинен бути налагоджений ефективний двосторонній зв'язок між споживачами і

енергосистемою. У зв'язку з цим з'являється можливість поєднання геоінформаційної системи з концепцією Smart Grid та отримання енергозберігаючого ефекту [7].

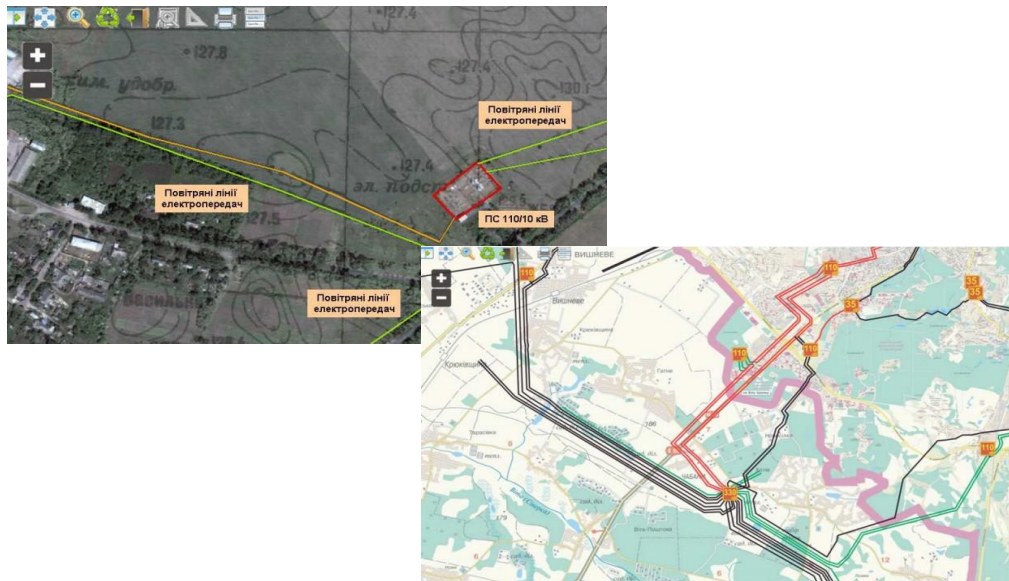


Рис. 1.3.1. Спеціальні картографічні матеріали: лінії електропередач та основні підстанції.

Переваги від використання Smart Grid такі:

- високий рівень безпеки та більш ефективна передача електроенергії;
- швидке відновлення після відключення електрики;
- зниження пікового попиту, що сприятиме зниженню тарифів на електроенергію;
- найкраща інтеграція споживачів і підприємств у систему виробництва електроенергії, в тому числі, відновлюваних джерел енергії;
- можливість обробки різноманітних джерел електроенергії (енергії вітру, сонця);
- підвищення надійності систем перетворення, передачі і розподілу електричної енергії;
- вирішення проблеми з модернізації або заміни старої енергетичної інфраструктури [7].

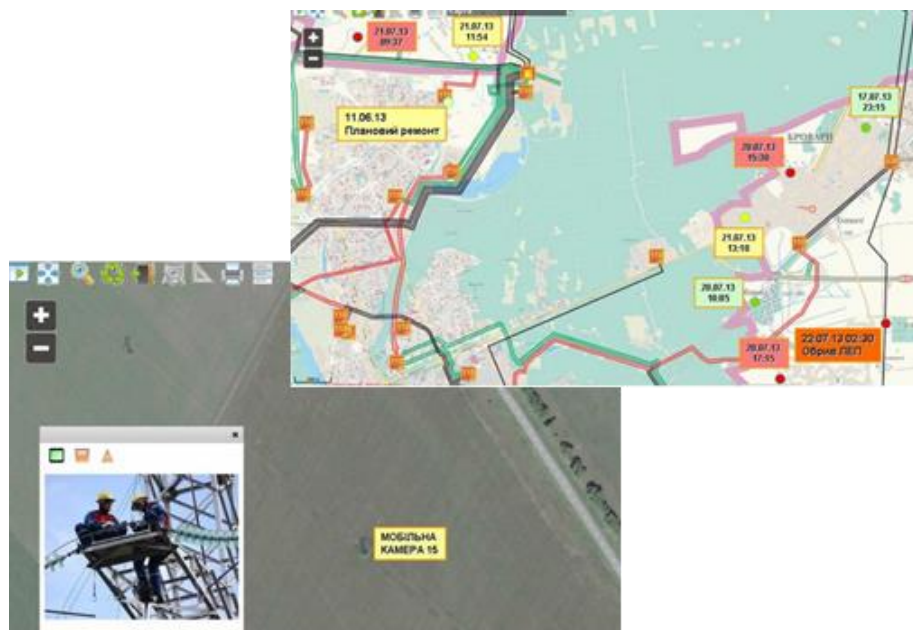


Рис. 1.3.2. Реєстрація, відображення службових подій (надзвичайних ситуацій, планових ремонтів, відключень) та відеомоніторинг виконання ремонтних робіт.

1.4 Лідарне знімання та його переваги для моніторингу ЛЕП.

LiDAR – Light Detection And Ranging – це аббревіатура загальної методики, що використовують для виконавчих знімачь – за допомогою вимірювання відбиття світлового променя визначають координати точок.

Використання технологій LiDAR для перевірки ліній електропередач дає унікальні переваги. Хмари точок LiDAR – хмари точок, що отримані за результатами лідарного знімання, і цифрові карти дозволяють операторам мережі вимірювати відстань між листям, різною рослинністю та лініями електропередач. Це, у свою чергу, дозволяє їм приймати обґрунтовані рішення та прогнозувати сфери, які стануть проблемними найближчим часом. Замість проведення великомасштабних операцій з очищення, оператори мереж можуть зосередитися на областях, які становлять найбільшу загрозу для стабільності їхньої мережі електропередач.

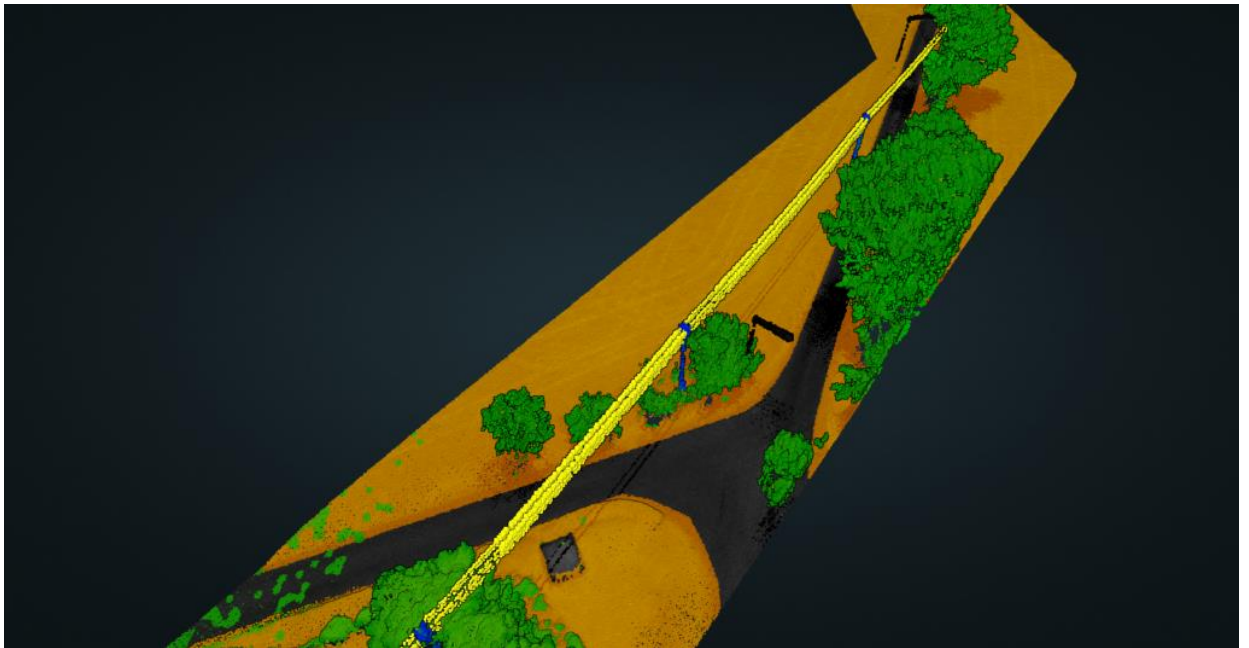


Рис. 1.4.1. Рослинність поблизу ліній електропередач.

Перевірки ліній електропередач з використанням технологій LiDAR, також дозволяють вимірювати профілі проводів, що дозволяє операторам мереж виправляти провисання ліній електропередач. Лідарне картографування ліній електропередач особливо важливе в районах з високою щільністю трафіку або великомасштабним рухом машин. Наприклад, провисання ліній електропередач часто становлять загрозу для тракторів та іншого сільськогосподарського обладнання, що використовується в сільськогосподарських районах. Лідарне відображення ліній електропередач знову дозволяє операторам мереж діяти до того, як буде завдано будь-яких пошкоджень лінії електропередач або машинам, які працюють навколо неї.

Під час спостережень після шторму інспекції ліній електропередач, технології LiDAR дозволяють виявляти дерева, що нахилиються, які знаходяться в небезпечній близькості до ліній електропередач або можуть становити загрозу, якщо вони впадуть. Це знову ж таки допомагає операторам мереж приймати попереджувальні рішення та вживати заходів до того, як пошкоджені штормом дерева можуть впасти та спричинити знеструмлення. Перевірки ліній електропередач з використанням технологій LiDAR дозволяють операторам

мереж заощадити час, гроші та втрату прибутку через відключення електроенергії, вживаючи правильних дій на основі якісної інформації [6].

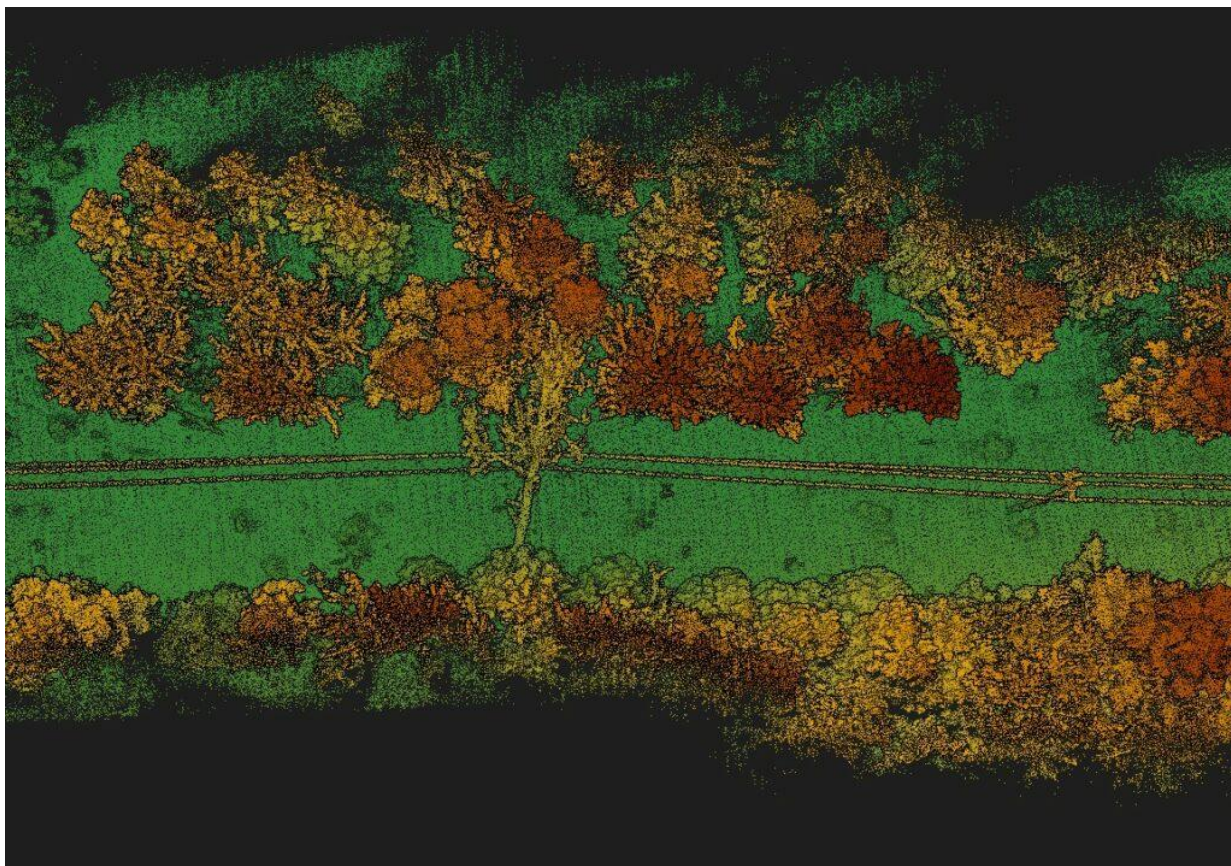


Рис. 1.4.2. Дерево, що впало на лінію електропередач

Переваги для інспекції лінії передачі LiDAR

Однією з найбільших переваг інспекції за методом технології LiDAR є швидкість виконання операцій. LiDAR збирає вимірювання за частки секунди, що дозволяє швидко скласти карту місцевості. Замість днів, тижнів чи навіть місяців, величезні смуги землі можна охопити за години. Беручи до уваги величезну майстерність збору даних, LiDAR також є одним із найдешевших методів перевірки ліній електропередач на ринку [8].

Середня точність зйомки лідару може варіюватися залежно від його технічних характеристик, таких як роздільна здатність, швидкість збору даних, точність вимірювань, в межах від декількох міліметрів до кількох сантиметрів, залежно від моделі та умов використання. Для моніторингу ЛЕП точність повинна бути

не меншою 10 см. Тому методи використання технологій лідар будуть підходити для моніторингу ЛЕП.

Щодо швидкості сканування території, це також залежить від багатьох факторів, включаючи розмір території, тип лідару, розміщення та швидкість руху обладнання, а також необхідну роздільну здатність і точність сканування. Зазвичай, сучасні лідарні системи дозволяють знімати 100 га за 2 години з точністю до 1 см.

Інспекція ліній електропередач, ліній електропередач та підстанцій є необхідним кроком у обслуговуванні інфраструктури розподілу електроенергії. Це запобігає відключенню електроенергії шляхом моніторингу інфраструктури та виявлення проблем, які можуть поставити під загрозу цілісність ліній електропередач. Відключення електроенергії завдають величезних економічних втрат і загрожують природній екосистемі. На додаток до коротких замикань, інспекція силових ліній також може виявити інші аномалії розподілу енергії, які можуть загрожувати якості електроенергії.

Повітряні системи, обладнані LiDAR, фіксують дані з цільових зон інфраструктури ліній електропередач, ліній електропередач та підстанцій. Ці дані обробляються для створення цифрової карти та моделі, яка показує відстані між силовими лініями та навколишньою рослинністю. Ці картографічні дані дозволяють операторам зосередити свої зусилля на областях, які становлять найбільшу загрозу для ліній електропередач. Оскільки LiDAR швидкий і точний, оператори можуть використовувати його для виявлення провисання проводів, небезпечних дерев та інших потенційних небезпек.

Аерофотозйомка - це ще один варіант перевірки силових ліній, який є економічно ефективним і економить час. Аерофотозйомка може відображати до 50 км ліній електропередачі за один день, економлячи час операторів мереж на землі та знижуючи витрати на робочу силу до 50%. Аерофотозйомка використовує повно кадрову камеру та власні алгоритми для отримання даних лідарної якості, котра визначається за різними факторами, такими як точність

вимірювань, роздільна здатність, швидкість збору даних, дальність зчитування та інші технічні параметри.

Лідарна технологія дозволяє візуалізувати лінії електропередач і виявляти проблеми, які можуть вплинути на їхню безпеку. Вона використовується для обстеження високовольтних ліній електропередач і виявлення будь-яких проблем до того, як вони спричинять пошкодження електричної мережі. Він також може виявити наявність рослинності, яка може становити небезпеку для ліній електропередач. Використання лідарної технології може допомогти комунальним компаніям мінімізувати витрати і ризики при перевірці ліній електропередач.

Обстеження ліній електропередач за допомогою LiDAR може допомогти операторам мереж нанести на карту профілі проводів, що особливо важливо в регіонах з високою щільністю дорожнього руху та інтенсивним рухом техніки. Ці перевірки також допомагають операторам мереж реагувати на потенційні проблеми до того, як вони спричинять пошкодження мережі. Один проліт ліній електропередач може бути перевірений всього за десять хвилин за допомогою одного-двох фахівців [9].

Висновки до розділу 1

У цьому розділі було досліджено поняття ліній електропередач (ЛЕП) та їхню роль у забезпеченні електропостачання. Розглянуто завдання, які стоять перед моніторингом ЛЕП, а також розглянуто різноманітні засоби і технології, що використовуються для забезпечення ефективного контролю за їхнім станом.

Зокрема, було акцентовано увагу на застосуванні лідарних технологій для ведення моніторингу ЛЕП. Ці технології відрізняються надзвичайною точністю, здатністю до швидкого сканування об'єктів та збирання великої обсягу деталізованої інформації про стан ліній електропередач. Однією з головних переваг є точність від кількох міліметрів до кількох сантиметрів, що дозволяє виявляти навіть найменші відхилення в роботі ЛЕП.

Крім того, лідарні технології відрізняються високою швидкістю сканування, що дозволяє проводити інспекції об'єктів електромережі за короткий час. Вони

також надають наочну та деталізовану інформацію про стан об'єктів, що сприяє прийняттю ефективних управлінських рішень. При цьому використання лідарних технологій є відносно витратним методом моніторингу, що робить його привабливим для багатьох компаній та організацій, що займаються управлінням та обслуговуванням електромереж.

РОЗДІЛ 2 МЕТОДОЛОГІЯ МОНІТОРИНГУ ЛЕП ЗА ДАНИМИ ЛІДАРНОГО ЗНІМАННЯ

РОЗДІЛ 2 МЕТОДОЛОГІЯ МОНІТОРИНГУ ЛЕП ЗА ДАНИМИ ЛІДАРНОГО ЗНІМАННЯ

2.1 Методика моніторингу ЛЕП

Моніторинг електропередачі

Лінії електропередач потребують своєчасного обстеження та моніторингу для запобігання аварійній ситуації при експлуатації. Системні аварійні ситуації є дуже небажаними, тому потребують передчасного їх виявлення і запобігання. Відповідно, цього можна уникнути, якщо проводити ретельний моніторинг роботи всіх елементів енергосистеми. Достатнього розвитку набули напрямки дистанційного контролю для дослідження експлуатаційного стану електроенергетичних об'єктів за рахунок використання спеціального обладнання, зокрема літальних апаратів.

Також розглянуто можливості з практичних засобів дистанційного моніторингу ліній електропередачі. Завдяки порівняно недорогому використанню і простоті експлуатації, дистанційно керовані літальні апарати є ефективним інструментом для обстеження високовольтних ліній електропередач. Низка переваг використання дистанційно керованого літального апарата полягає у розширених функціональних можливостях з якості моніторингу, що забезпечується сучасним обладнанням.

Функціональний аналіз сучасного бортового обладнання вказує на можливості виявлення об'єктів дослідження в реальному масштабі часу, за рахунок застосування телеметричних, супутникових та комбінованих телевізійних та тепловізійних систем, з можливістю детального обстеження. Найбільш перспективним є застосування комбінованих тепло-телевізійних систем що дозволяє істотно підвищити технічні характеристики системи спостереження.

Такий підхід забезпечує моніторинг теплових втрат, виявлення перегрітих елементів ліній електропередачі та оцінку працездатності елементів. Така

технологія забезпечує більш безпечно та своєчасне виявлення несправностей, загроз експлуатації та проведення робіт з їх усунення.

Крім того, збільшуються галузі застосування дистанційно керованих літальних апаратів у якості обстежень задля проектування енергосистем [10].

Можливості дистанційного моніторингу ліній електропередач.

Забезпечення необхідних заходів для функціонування високовольтних ліній електропередач може запобігти виникненню аварійної ситуації в системі.

Спостерігаючи за високовольтними лініями електропередач, можна виявити: наявність обривів і оплавлення проводів або оболонки; наявність пошкоджень ізолятора; технічний стан опор, кріплень і заземлюючих пристроїв; наявність іскри; правильність регулювання наявність іскріння; правильність регулювання проводів; стан захисних пристроїв на високовольтних лініях.

Проаналізувавши конкретні причини виникнення аварійних ситуацій, дійшли висновку, що недостатня робота пристроїв захисту, систем автоматичного регулювання генератора, недоліки у функціонуванні обладнання, а також використання автоматики протиаварійного захисту алгоритму протиаварійної автоматики можуть призвести до системного виходу з ладу ліній електропередач.

Розглядаючи такий підхід, як застосування керованих літальних апаратів керованих літальних апаратів, то він надає певні можливості для дистанційного безконтактного моніторингу. Наприклад, проведення інфрачервоної аерофотозйомки елементів ліній електропередач елементів ліній електропередач дозволяє швидше виявляти ненадійні контакти, перегріву елементів на кожній ділянці лінії та виявлення джерел втрат електроенергії.

Для проведення технічного обслуговування за допомогою фотограмметрії можна перевірити миттєвий стан ліній електропередач: розташування та розміри опор; провисання проводів; наявність видимої корозії на опорах; проводів, фазорозподільників, демпферів.

Аерофотозйомка місцевості необхідна для визначення необхідності освітлення природної порослі поблизу ліній електропередач ліній

електропередач, що становить небезпеку на відстані згідно нормами. Провести оцінку можливостей розширення території для використання високовольтної лінії електропередач. Такий відеоаналіз дозволяє детально вивчити місцевість та обрати найбільш оптимальний план будівництва ліній електропередач [10].

Етапи моніторингу високовольтних ліній.

На першому етапі: аерофотозйомка проводиться на лінійній ділянці високовольтної лінійної аерофотозйомки за допомогою відеокамери, встановленої на ній за допомогою літака з дистанційно керованим літаком, а зйомка проводиться у видимому або інфрачервоному або інфрачервоному діапазоні. Враховуються також координати, визначені опорами ліній електропередач і параметрами випробування координатів опор ліній електропередач і параметри оглядового коридору.

На другому етапі отримані дані обробляються за допомогою програмного забезпечення. Проводиться тривимірна реконструкція електроопор і проводів.

На третьому етапі оцінюється стан високовольтних ліній в межах прольотів, параметри та їх характеристики: величина провисання стріли, максимальне і мінімальне відхилення; довжини прольотів високовольтних ліній горизонтальних і вертикальних відстаней від проводів високовольтних ліній до рослинності в межах охоронної зони; поздовжні та поперечні профілі високовольтних ліній в межах охоронної зони з метричною інформацією; метричні характеристики з прив'язкою до цифрової моделі місцевості; фактична ширина переходу з високовольтними лініями; висота і розташування видимих загрозованих окремих дерев і їх кількість на цифровій поверхній моделі охоронної зони, а також висота яких не перевищує допустимого рівня.

На четвертому етапі проводиться комплексний аналіз отриманих даних і виробляються рекомендації щодо експлуатації високовольтних ліній і формуються рекомендації щодо їх подальшої експлуатації [10].

Загальна методика моніторингу ЛЕП

Схема 2.1

Схема загальної методики моніторингу ЛЕП



Загальна методика моніторингу ЛЕП полягає з головних пунктів:

1. Технічне завдання
2. Збір даних
3. Оброблення даних
4. Висновки

Починаючи з технічного завдання нам потрібні виконати такі пункти як:

- 1) Мета моніторингу: Це загальний опис того, що саме ви хочете досягти за допомогою моніторингу ліній електропередачі. Наприклад, ваша мета може полягати в покращенні безпеки, підвищенні надійності, зменшенні втрат енергії, оптимізації енергоефективності тощо.
- 2) Технічні умови: Це специфікації і вимоги до системи моніторингу, які визначаються для забезпечення досягнення мети моніторингу. Вони можуть включати технічні характеристики обладнання, методи вимірювання, частоту збору даних, вимоги до точності та надійності, інтеграцію з існуючими системами тощо.
- 3) Показники: Це конкретні параметри або величини, які ви будете вимірювати або моніторити для досягнення мети моніторингу. Наприклад,

це можуть бути напруга на лініях, струм, температура обладнання, рівень шуму, втрати енергії, частота аварій, тривалість перерв у постачанні тощо. Після формулювання технічного завдання для моніторингу ліній електропередачі, наступним кроком є збір необхідних даних, що відображають стан інфраструктури. У цьому нам допоможуть сучасні технології, такі як лідар, аерофотознімання та класична геодезія:

- Лідар (Light Detection and Ranging): За допомогою лідару можна здійснювати точні вимірювання відстаней до об'єктів на місцевості, таких як стовпи ЛЕП, та визначати їх геометричні параметри, такі як висота та розташування. Це може включати виявлення вегетації, яка може перешкоджати лініям електропередачі, а також вимірювання відстані між стовпами та інші важливі параметри.

- Аерофотознімання: Збір зображень з повітря за допомогою аерофотознімання може надати детальні та високоякісні зображення місцевості, включаючи ЛЕП та прилеглі території. Це дозволяє виявити потенційні проблеми, такі як пошкодження ліній або вплив вегетації на їх роботу. Аналіз цих зображень може також допомогти в оцінці стану інфраструктури та виявленні зон ризику.

- Класична геодезія: Вимірювання за допомогою геодезичних інструментів може бути використано для точного визначення геометричних параметрів ліній електропередачі, таких як висота та розташування стовпів. Це важливо для збору точних даних про місце розташування ліній та їхні параметри для подальшого аналізу.

- Заповнення бази геопросторових даних (БГД): Після збору даних з лідару, аерофотознімання та геодезії, важливим кроком є включення цих даних до БГД. Це дозволяє створити основу для подальшого аналізу та моніторингу інфраструктури, виявлення проблем та розробки стратегій для їх вирішення. Такий підхід забезпечує повноту та точність інформації про стан ліній електропередачі, необхідну для їхнього ефективного управління та планування розвитку.

Після успішного збору великого обсягу даних, наступним кроком у процесі моніторингу ліній електропередачі є їх оброблення та аналіз для отримання корисної інформації.

Продовження процесу оброблення даних може включати такі кроки:

- Обчислення показників: Після збору даних важливо обчислити різноманітні показники, які допоможуть в оцінці стану ЛЕП та лісових екосистем. Це може включати побудову зведених таблиць, графіків та інших графічних представлень даних для легшого аналізу.

- Моделювання: Використання різних моделей, таких як ЦМР (цифрова модель рельєфу) та ЦММ (цифрова модель місцевості), може допомогти у розумінні топографії місцевості, виявленні потенційних проблемних зон та прогнозуванні можливих змін у ландшафті.

- Оцінка точності: Після оброблення даних важливо оцінити точність отриманих результатів. Це може включати порівняння з результатами інших досліджень, перевірку наявних геодезичних даних або проведення додаткових вимірювань для підтвердження отриманих результатів.

Для моніторингу ліній електропередач (ЛЕП) і створення топографічних планів існують певні нормативи та вимоги.

Топографічні плани в масштабі 1:500 мають відповідати певним вимогам точності. Основні нормативи, що регулюють ці вимоги, включають точність позиціонування об'єктів і деталізацію зображень. Наприклад, для зйомки у масштабі 1:500 максимальна допустима похибка становить 0,1 метра.

Також важливим аспектом є забезпечення топографічних планів семантичною інформацією, яка містить докладний опис характеристик об'єктів, що не завжди відображаються на кресленнях через їхню щільність. Ці плани мають термін дії один рік і повинні бути затверджені відповідною організацією або місцевим архітектурним управлінням

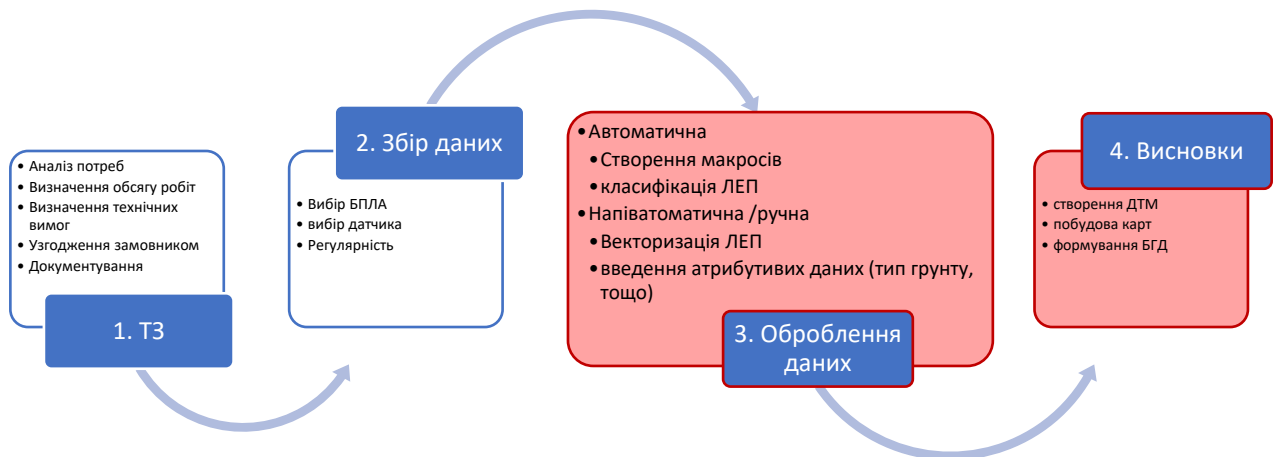
Коли обробка даних була закінчена, формуються висновки, які узагальнюють отримані результати та надають важливі відомості щодо стану досліджуваної території або об'єкту [11, 12].

- **Формування звіту:** Після оброблення та аналізу отриманих даних складено висновки та рекомендації, які включають у себе важливі відомості про стан ліній електропередачі та лісових екосистем. Звіт є інформативним документом, який допомагає зробити обґрунтовані висновки щодо подальшого використання та управління ресурсами.
- **Створення цифрових карт:** Були створені цифрові карти, які детально відображають географічне розташування ліній електропередачі та лісових масивів. Ці карти стануть корисним інструментом для подальшого моніторингу, планування та управління інфраструктурою та екосистемами.

Методика моніторингу ЛЕП за даними лідарного знімання

Схема 2.1.2.

Схема загальної методики моніторингу ЛЕП за даними лідарного знімання



Першим етапом у методиці моніторингу ЛЕП за даними лідарного знімання є технічне завдання, що відрізняється від загальної методики моніторингу ЛЕП специфікацією завдань. Розглянемо це технічне завдання та його особливості:

- Аналіз потреб: На цьому етапі вивчаються потреби і вимоги щодо моніторингу ЛЕП за допомогою лідарного сканування. Це може включати вивчення поточного стану ЛЕП, типів даних, які необхідно зібрати, частоти моніторингу та інші фактори, що впливають на дизайн системи моніторингу.

- Визначення обсягу робіт: На цьому етапі встановлюється обсяг та масштаб проекту моніторингу ЛЕП з використанням лідарного знімання. Це включає в себе визначення конкретних ділянок ЛЕП, які будуть моніторитися, розміщення датчиків лідару, необхідність розробки алгоритмів обробки даних та інші технічні аспекти.

- Визначення технічних вимог: На цьому етапі формулюються технічні вимоги до системи моніторингу ЛЕП. Це має включати наступні відомості: вимоги до точності знімання, роздільної здатності, швидкості сканування, висоти місцезнаходження лідарів, а також вимоги до програмного забезпечення для обробки та аналізу даних.

- Узгодження замовником: Після визначення технічних вимог вони повинні бути обговорені та узгоджені з замовником або організацією, яка замовляє моніторинг. Це важливо для забезпечення того, що розроблена система відповідає очікуванням та потребам замовника.

- Документування: На завершальному етапі розробляється технічне завдання, яке містить усі визначені вимоги, обсяг робіт, технічні характеристики та умови угоди з замовником. Цей документ служить основою для подальшого процесу розробки та виконання проекту.

Наступний крок це збір даних. Для цього процесу нам потрібно визначитись з літальним апаратом (БПЛА) та датчиком. Також потрібно налаштувати частоту проведення польотів. Тому потрібно врахувати декілька важливих кроків:

- Вибір БПЛА: На цьому етапі визначається, які БПЛА будуть використовуватися для збору даних. Вибір повинен здійснюватися на основі вимог щодо масштабу моніторингу, необхідної продуктивності, тривалості польоту, висоти польоту та інших факторів.

- **Вибір датчика:** Після вибору БПЛА важливо обрати відповідний датчик для збору даних. У нашому випадку це лідарний датчик, який вимірює відстань до об'єктів за допомогою лазерного променя. Вибір датчика також залежить від потреб щодо точності, дальності зондування та інших технічних характеристик.

- **Регулярність:** Важливо визначити регулярність моніторингу, тобто частоту проведення польотів БПЛА для збору даних. Це може бути залежно від змін у стані ЛЕП, ризиків та необхідності отримувати актуальну інформацію. Регулярність також може визначатися фінансовими обмеженнями та технічними можливостями.

Коли всі дані були зібрані за допомогою БПЛА та лідарного сканування, потрібно зробити обробку цих даних. У цьому процесі використовується етапи як автоматичної так і напівавтоматичної (ручної) обробки даних, котрі поділені на такі етапи:

Автоматична обробка даних:

- **Створення макросів:** Цей етап включає автоматизацію певних завдань обробки даних за допомогою програмних макросів або сценаріїв. Наприклад, це може бути автоматичне видалення шуму з лідарних знімків або автоматичне виділення основних об'єктів.
- **Класифікація ЛЕП:** Під час цього етапу визначається алгоритм для автоматичної класифікації об'єктів як ЛЕП. Це може включати використання методів обробки хмар точок для ідентифікації та розпізнавання ЛЕП на лідарних знімках.

Напівавтоматична / ручна обробка даних:

- **Векторизація ЛЕП:** На цьому етапі об'єкти ЛЕП перетворюються в векторний формат для подальшого аналізу та використання у геоінформаційних системах (ГІС). Це може включати визначення координат, форми та розмірів кожного ЛЕП.

- Введення атрибутивних даних: На цьому етапі збираються та вводяться атрибутивні дані про кожну ЛЕП, такі як тип конструкції, матеріал, висота, відстань між опорами та інші. Ці дані можуть бути використані для подальшого аналізу та оцінки стану ЛЕП.

Після завершення обробки даних та введення атрибутивних характеристик ЛЕП, наступним кроком буде проведення аналізу цієї інформації та формулювання висновків на основі виявлених результатів. Давайте розглянемо кілька можливих етапів цього процесу:

- Створення цифрової моделі рельєфу (ДТМ): Геопросторовий растровий шар, відомий як ДТМ, забезпечує візуальне представлення висоти поверхні Землі, за винятком будь-яких об'єктів. Щоб створити ДТМ, можна обробити дані лідара, щоб точно відобразити рельєф земної поверхні, зокрема за винятком ліній електропередачі.

- Побудова карт: На основі оброблених даних можна створити картографічні продукти, такі як зображення карт, тематичні карти енергетичної інфраструктури або картографічні плани. Ці картографічні продукти можуть відображати місцезнаходження та характеристики ліній електропередач, а також інші важливі географічні об'єкти та функціональні елементи.

- Формування бази геоданих (БГД): База географічних даних (БГД) - це структурована система, яка зберігає інформацію про географічні об'єкти та їх характеристики. Для лінійних енергетичних підстанцій (ЛЕП) створення БГД може включати створення бази даних, де буде зберігатися інформація про місцезнаходження, технічні характеристики та стан кожної ЛЕП, а також додаткова інформація, яка може використовуватися для аналізу та управління енергетичною інфраструктурою.

В роботі проведено порівняльний аналіз методів моніторингу ЛЕП – за даними лідарного знімання та класичних виконавчих знімачь (таблиця 2.1).

Порівняльний аналіз методів моніторингу ЛЕП

Фактори	Точність	Швидкість	Вартість	Формати даних	Автоматизована обробка	Доступність	Складність обробки даних	Вимоги до обладнання
1.Моніторинг ЛЕП за даними лідарного знімання	Між 2-10 см	100 га за годину	Від 50 000 грн/ га	.las	+	Низька	потребує спеціалізованого програмного забезпечення	Спеціалізоване
2.Моніторинг ЛЕП за даними класичного виконавчого знімання	1 см	2 га за годину	Від 2000 грн/га	.txt	-	Широка	Обмежені можливості наповнення БГД	Стандартне
Висновки	2	1	2	-	1	2	1	-

У висновках до таблиці 2.1 розглянемо переваги лідарного та класичного знімання.

Переваги лідарного знімання:

- Точність: Забезпечує високу точність від 2 до 10 см, що є достатньо для багатьох інженерних застосувань.
- Швидкість: Значно швидше, може охопити до 100 га за годину, що робить його ефективним для великих територій.
- Автоматизована обробка: Підходить для автоматизованої обробки даних завдяки високій якості та формату даних.

- **Формати даних:** Дані легко інтегруються в автоматизовані системи, що дозволяє швидше проводити аналіз і приймати рішення.

Переваги класичного виконавчого знімання:

- **Точність:** Забезпечує стабільну точність 2 см, що є відмінним результатом для детальних інспекцій.
- **Вартість:** Менша вартість у порівнянні з лідарним зніманням, що може бути важливим фактором для бюджетних проектів.
- **Доступність:** Потребує менш спеціалізованого обладнання та нижчих витрат на обслуговування.
- **Складність обробки даних:** Менш складна обробка даних, що знижує потребу в спеціалізованому програмному забезпеченні та кваліфікованих спеціалістах.

Загальний висновок:

Лідарне знімання є більш ефективним для великих територій, де швидкість та можливість автоматизованої обробки даних є критично важливими. Воно підходить для проектів з більшим бюджетом, які можуть дозволити собі високі початкові витрати на обладнання та обробку даних.

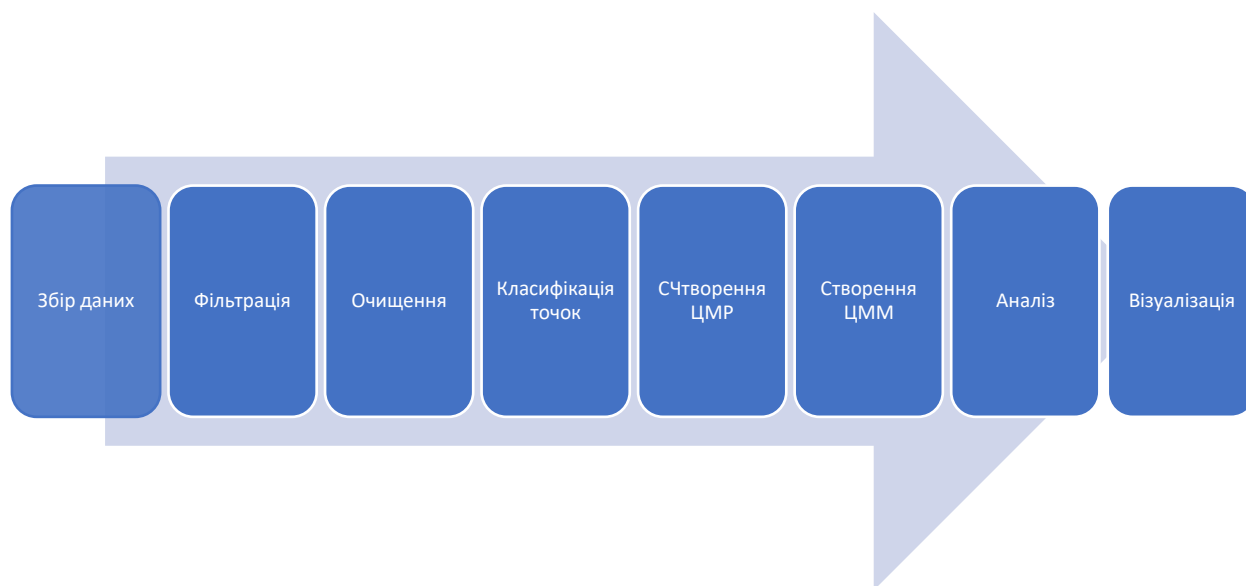
Класичне виконавче знімання є більш доступним та економічним варіантом для менших проектів або в ситуаціях, де висока точність та швидкість не є критично важливими. Це хороший вибір для проектів з обмеженим бюджетом та меншою площею моніторингу.

2.2 Оброблення лідарних даних при моніторингу ЛЕП

Обробка даних LiDAR

Обробка даних LiDAR складається з декількох етапів. Етапи та їх послідовність зображено на схемі 2.2.

Схема послідовності оброблення даних LiDAR



Фільтрація та очищення хмар точок LiDAR є важливим етапом у процесі обробки. Дані LiDAR можуть бути зашумленими, тому важливо видалити всі помилкові або непотрібні точки з хмари точок, щоб підвищити точність кінцевого продукту. Це можна зробити за допомогою різних методів, таких як фільтрація на основі щільності або видалення статистичних викидів.

Хмари точок, за методами використання технології LiDAR, також можна класифікувати на основі їхніх атрибутів. Наприклад, точки можна класифікувати як наземні або не наземні. Це корисно для таких застосувань, як генерація ЦМР, де важливо розрізняти землю та інші об'єкти на поверхні [13].

TerraScan є основною програмою сімейства Terrasolid Software для керування та обробки всіх типів хмар точок. Він пропонує інструменти імпорту та структурування проекту для обробки величезної кількості точок кампанії лазерного сканування, а також відповідної інформації про траєкторії. Різні процедури класифікації дозволяють автоматично фільтрувати хмару точок.

Управління, обробка та візуалізація хмари точок є лише частиною TerraScan. Крім того, програмне забезпечення надає автоматизовані інструменти для створення 3D-векторних даних на основі лазерних точок.

TerraScan підтримує кілька форматів імпорту та експорту, включаючи формати LAS і LAZ, TerraScan Binary і TerraScan Fast Binary, а також формати ASCII, які можна визначити відповідно до потреб користувачів [14].

Повний аналіз лінії електропередач можна виконати за допомогою програмного забезпечення TerraSolid. Почнемо із зіставлення різних ліній польоту, перейдемо до класифікації хмари точок, яка дає вхідні дані для проводів разом із векторизацією веж. Це призводить до ідентифікації небезпеки очищення. Векторні дані можуть бути інтегровані в професійне програмне забезпечення та, таким чином, використані для виконання досліджень теплової потужності, аналізу проектів реконструкції та створення записів про виконану роботу [15].

Після того, як хмару точок очищено та проведено класифікацію, її можна використовувати для створення матриць висот і матриць проміжних висот.

Цифрова модель рельєфу (ЦМР) - цифрове подання рельєфу у вигляді тривимірного покриття [16]

Цифрова модель місцевості (ЦММ) - формалізоване подання природних та штучних форм рельєфу, а також контурів та висот будівель і інженерних споруд [16].

Для моніторингу ліній електропередач краще використовувати побудову ЦММ, так як можна створювати моделі будівель та інженерних споруд, тобто опор та інших об'єктів електромереж.

На основі створених моделей проводиться аналіз ризиків визначення небезпек для ліній електропередач, таких як можливість падіння дерев або інших об'єктів на лінії.

Сама ж візуалізація даних, за допомогою використання технологій LiDAR, включає створення тривимірних моделей, картографічних зображень, анімацій та інтерактивних платформ для наочного представлення та аналізу геопросторової інформації.

2.2.1 Огляд інструментальних засобів для класифікації лідарних даних

У цьому пункті ми зможемо детально оглянути інструменти для обробки лідарних даних, а саме класифікація у такому продукті як Microstation.

Основними інструментами ручної класифікації в ПЗ Microstation розташовані на робочій панелі TerraScan.

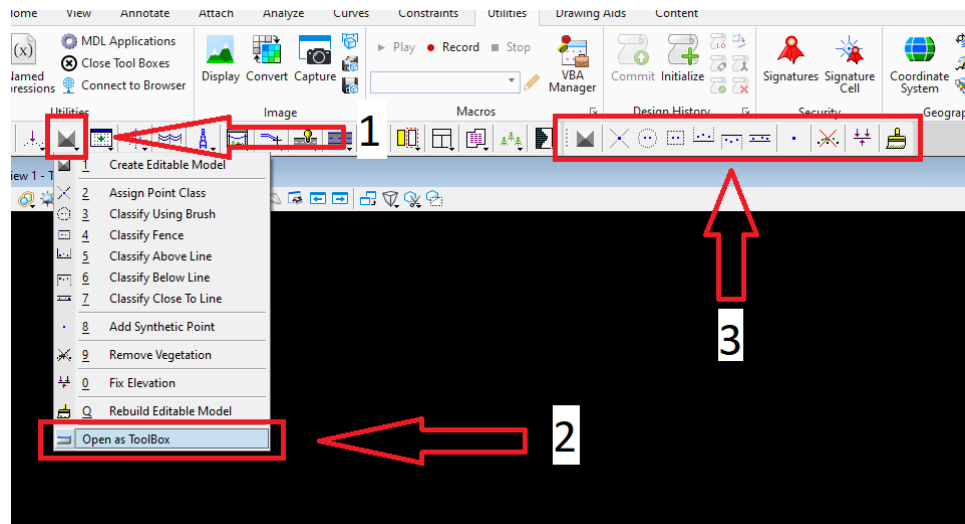



Рис. 2.2.1.1. Шлях до панелі інструментів ручної класифікації.



Рис. 2.2.1.2. Панель інструментів ручної класифікації.

1. Інструмент "Assign Point Class"  класифікує окрему лазерну точку або точки, які належать до групи точок. Він класифікує або найближчу точку до клацання даних, або найвищу чи найнижчу точку в межах кругової області пошуку. Для групової класифікації метод вибору точок визначає, яку групу класифікувати.

Класифікація точок групи вимагає присвоєння групових номерів лазерним точкам. Це можна зробити за допомогою команди Присвоїти групи для завантажених точок або відповідної макродії для макрообробки блоків проекту.

Інструмент працює як у видах зверху, так і у видах розрізу або будь-яких повернутих видах [17].

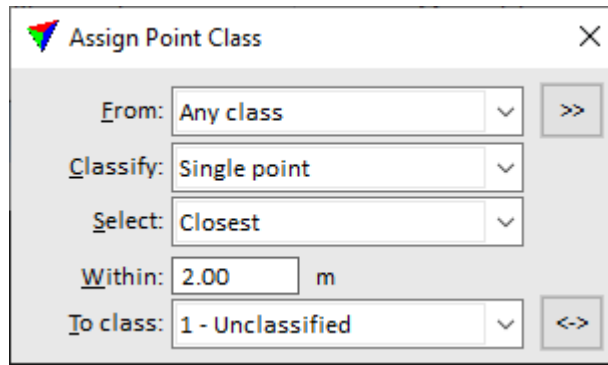


Рис. 2.2.1.3. Діалогове вікно Assign Point Class.




НАЛАШТУВАННЯ	ЕФЕКТ
Від	Вихідний клас; діють тільки бали з цього класу. Список містить активні класи в TerraScan. Крім того, можна класифікувати будь-яку видиму точку .
	Відкриває діалогове вікно вибору класів , яке містить список активних класів у TerraScan. Ви можете вибрати кілька вихідних класів з списку, які потім використовуватимуться в полі Від класу .
Класифікувати	Визначає, які точки класифікуються: одна точка чи ціла група . Вся група активна, лише якщо лазерним точкам присвоєно номери гр
Виберіть	Метод, яким програмне забезпечення вибирає точку або групу для класифікації: <ul style="list-style-type: none"> • Найближче – точка, найближча до клацання даних, класифікується. • Найвища – класифікується найвища точка в області пошуку. • Найнижча – класифікується найнижча точка в межах області пошуку.
В межах	Радіус зони пошуку. Наведено в основних одиницях файлу CAD.
До класу	Цільовий клас, до якого класифікуються бали. Список містить активні класи в TerraScan.
	Перемикання з і на заняття класу. Якщо для класу «Від» встановлено значення «кілька класів» або « Будь-яка видима точка » , клас перемикається на вихідний клас із найменшим номером класу.

Рис. 2.2.1.4. Таблиця з описом наявних параметрів інструменту Assign Point Class.

2. Інструмент "Classify Using Brush"  класифікує точки всередині круглого або прямокутного пензля, який переміщується у вікні CAD-файлу. Усі точки, яких торкається пензель, класифікуються. Відображення точок ефекту динамічно змінюється під час використання інструмента.

Інструмент можна використовувати з двома різними типами дій миші. Ви можете використовувати його з двома окремими клацаннями даних і переміщенням вказівника миші між ними, або ви можете утримувати кнопку даних натиснутою під час переміщення вказівника миші. Коло або прямокутник навколо вказівника миші позначає пензель заданого розміру. Форма пензля відображається яскравіше, коли інструмент активний [17].

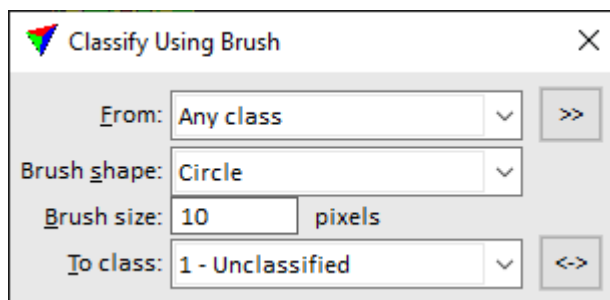


Рис. 2.2.1.5. Діалогове вікно Classify Using Brush.




НАЛАШТУВАННЯ	ЕФЕКТ
Від	Вихідний клас; діють тільки бали з цього класу. Список містить активні класи в TerraScan. Крім того, будь-яка видима точка може бути класифікована.
	Відкриває діалогове вікно вибору класів , яке містить список активних класів у TerraScan. Ви можете вибрати кілька вихідних класів зі списку, які потім використовуватимуться в полі From .
Форма кисті	Форма пензля: коло або прямокутник .
Розмір кисті	Розмір кисті. Дано в пікселях на екрані.
До класу	Цільовий клас, до якого класифікуються бали. Список містить активні класи в TerraScan.
	Перемикає з і на заняття класу. Якщо для параметра From встановлено значення Будь-яка видима точка , клас To перемикається на вихідний клас із найменшим номером класу.

Рис. 2.2.1.6. Таблиця з описом наявних параметрів інструменту Classify Using Brush.

3. Інструмент " Classify Fence"  класифікує точки всередині області огорожі. Область огорожі можна визначити, намалювавши елемент огорожі перед запуском інструмента.

Інструмент працює як у режимі вигляду зверху, так і у режимі вигляду перерізу. Користувач може визначити налаштування для тимчасового відображення довідкових рядків для інструмента [17].

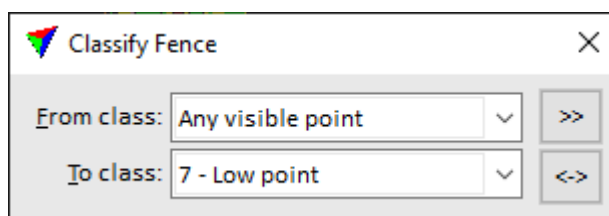


Рис. 2.2.1.7. Діалогове вікно Classify Fence.





НАЛАШТУВАННЯ	ЕФЕКТ
З класу	Вихідний клас(и); діють лише бали з вибраного класу(ів). Список містить активні класи в TerraScan. Крім того, можна класифікувати точки з кількох класів або будь-яку видиму точку .
До класу	Цільовий клас, до якого класифікуються бали. Список містить активні класи в TerraScan.
	Відкриває діалогове вікно вибору класів , яке містить список активних класів у TerraScan. Ви можете вибрати кілька вихідних класів зі списку, які потім використовуватимуться в полі Від класу .
	Перемикає з і на заняття класу. Якщо для параметра «Від» встановлено значення «кілька класів» або « Будь-яка видима точка » , клас «До» перемикається на вихідний клас із найменшим номером класу.
Лише один рядок	Якщо ввімкнено, точки з класифікуються лише з одного рядка. Класання даних, що приймає огорожу, має ідентифікувати точку від потрібної лінії.

Рис. 2.2.1.8. Таблиця з описом наявних параметрів інструменту Classify Fence.

4. Інструмент "Classify Above Line"  та "Classify Below Line"  класифікує точки над лінією та під лінією, намальованою на перерізі. Класифікація впливає лише на точки, які знаходяться всередині діапазону розгортання і глибини відображення вигляду перерізу.

Інструмент працює у видах перерізу. Користувач може визначити параметри тимчасового відображення підказки для інструмента [17].

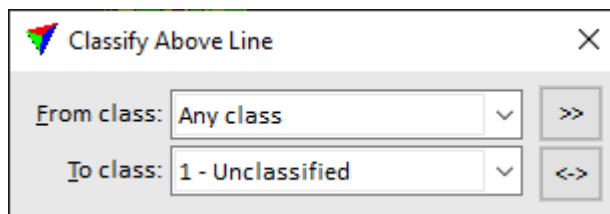


Рис. 2.2.1.9. Діалогове вікно Classify Above Line.

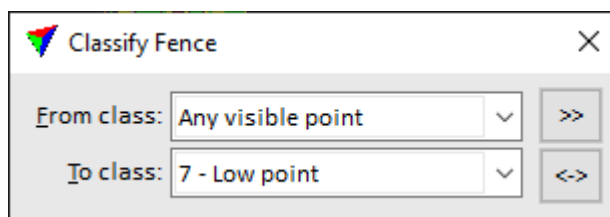


Рис. 2.2.1.10. Діалогове вікно Classify Fence.




НАЛАШТУВАННЯ	ЕФЕКТ
З класу	Вихідний клас(и); діють лише бали з вибраного класу(ів). Список містить активні класи в TerraScan. Крім того, можна класифікувати точки з кількох класів або будь-яку видиму точку .
До класу	Цільовий клас, до якого класифікуються бали. Список містить активні класи в TerraScan.
	Відкриває діалогове вікно вибору класів , яке містить список активних класів у TerraScan. Ви можете вибрати кілька вихідних класів зі списку, які потім використовуватимуться в полі Від класу .
	Перемикає з і на заняття класу. Якщо для класу «Від» встановлено значення «кілька класів» або « Будь-яка видима точка » , клас «До» перемикається на вихідний клас із найменшим номером класу.

Рис. 2.2.1.11. Таблиця з описом наявних параметрів інструментів Classify Above Line та Classify Below Line.

5. Інструмент " Classify Close To line"  класифікує точки, розташовані близько до заданої лінії у вигляді поперечного перерізу або у вигляді зверху. У вигляді поперечного перерізу він може поєднувати до трьох кроків класифікації: вище, ближче і нижче лінії. У вигляді зверху поведінка інструмента подібна до процедури класифікації за центральною лінією. Класифікація впливає лише на точки, які знаходяться всередині діапазону розтягування і глибини відображення вигляду поперечного перерізу.

Інструмент працює у видах перерізу і видах зверху. Користувач може визначити налаштування для тимчасового відображення рядків підказки для інструмента [17].

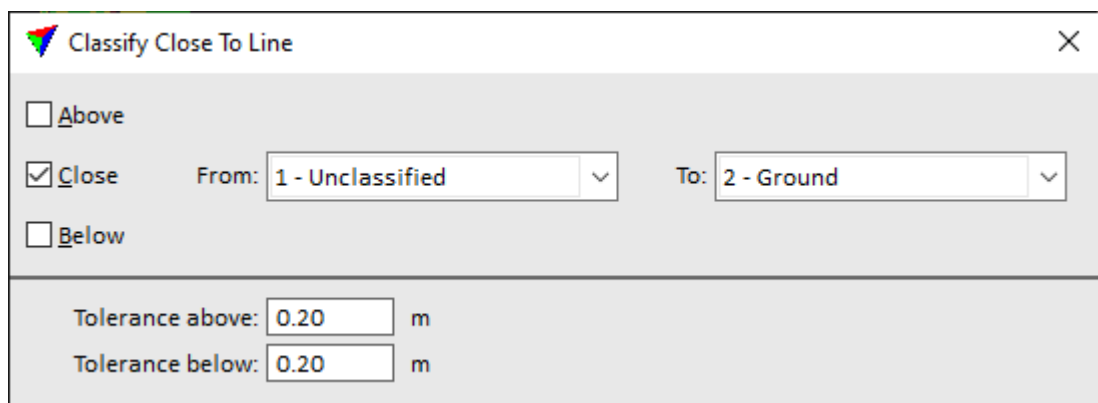


Рис. 2.2.1.12. Діалогове вікно Classify Close To line.

НАЛАШТУВАННЯ	ЕФЕКТ
вище	Якщо ввімкнено, застосовується класифікація над рядком. Вихідний і цільовий класи вибираються в списках Від і До активних класів. Крім того, будь-яку видиму точку можна вибрати у списку «Від». У вигляді зверху класифікація застосовується до точок праворуч від намальованої лінії.
Закрити	Якщо ввімкнено, застосовується класифікація, близька до лінії. Вихідний і цільовий класи вибираються в списках Від і До активних класів. Крім того, будь-яку видиму точку можна вибрати у списку «Від».
Нижче	Якщо ввімкнено, застосовується класифікація під рядком. Вихідний і цільовий класи вибираються в списках Від і До активних класів. Крім того, будь-яку видиму точку можна вибрати у списку «Від». У вигляді зверху класифікація застосовується до точок ліворуч від намальованої лінії.
Толерантність вище	Відстань від накресленої лінії до лінії, яка визначає межу класифікації вищезгаданої лінії. Разом із значенням Tolerance below це визначає область класифікації, наближеної до лінії.
Толерантність нижче	Відстань від накресленої лінії до лінії, яка визначає межу класифікації під лінією. Разом зі значенням Tolerance вище це визначає область класифікації, наближеної до лінії.

Рис. 2.2.1.13. Таблиця з описом наявних параметрів інструменту Classify Close To line.

Це шість головних інструментів при ручній класифікації. Ручна класифікація є важливим етапом. Це дозволяє точно ідентифікувати об'єкти на зображеннях,

що може бути складним для автоматизованих алгоритмів. Ручна класифікація дає можливість аналізувати кожен піксель або точку даних і визначати його клас.

Це поліпшує якість обробки геоданих та забезпечує точність у подальшому аналізі. Дозволяє враховувати потреби та вимоги завдання, а також експертні знання оператора. Такий підхід дозволяє максимально використовувати наш потенціал та знання. Така ручна класифікація важлива для отримання точних результатів у геоінформаційних системах.

Щодо автоматичної класифікації, то автоматична класифікація в геоінформаційних системах є іншим важливим етапом обробки даних, зокрема даних лідару. Вона ґрунтується на використанні різних алгоритмів та методів машинного навчання для автоматизованого визначення класів об'єктів на зображеннях. Цей підхід дозволяє швидко та ефективно обробляти великі обсяги даних.

Автоматична класифікація базується на використанні різних функцій та параметрів для розпізнавання об'єктів на зображеннях. Ці параметри можуть включати геометричні особливості, текстурні характеристики, інтенсивність сигналу лідару та інші.

Перевагами автоматичної класифікації є швидкість та однорідність результатів, а також можливість обробки великих обсягів даних. Крім того, вона дозволяє уникнути суб'єктивних помилок, які можуть виникати при ручній класифікації.

Автоматична класифікація часто використовується для обробки сирих даних, тобто даних, які не були попередньо оброблені жодними іншими інструментами класифікації. Цей підхід дозволяє здійснювати аналіз навіть найбільших обсягів даних, що є надзвичайно важливим в сучасних геоінформаційних системах.

Використання автоматичної класифікації на сирому матеріалі дозволяє значно економити час і зусилля, оскільки вона автоматично визначає класи об'єктів на зображеннях, не потребуючи втручання оператора. Це особливо корисно в областях, де обробка великих обсягів даних є необхідною, наприклад, у геодезії, картографії, міському плануванні та екологічних дослідженнях.

Та варто пам'ятати, що автоматична класифікація є менш точною, особливо при роботі з складними сценаріями. Тому практично завжди використовується ручна класифікація за для покращення результатів.

Автоматичну класифікацію можна застосувати двома методами, при створенні нового проекту, а також за допомогою макросів.

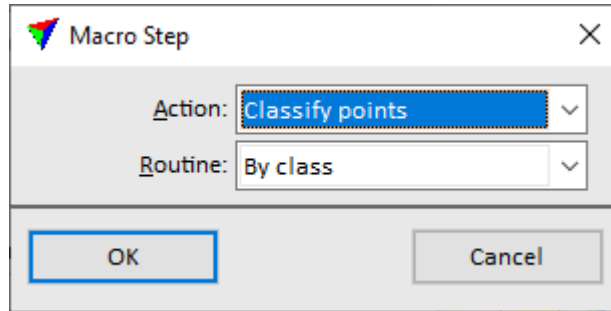


Рис. 2.2.1.14. Діалогове вікно Macro Step.

ДО	ВИКОРИСТАННЯ ДІЇ
Застосуйте процедуру класифікації для окремих точок	Класифікуйте точки
Застосуйте процедуру класифікації для груп	Класифікуйте групи
Призначте групи лазерним точкам	Змінити групи > Призначити групи
Зафіксуйте групи вздовж меж блоків	Змінити групи > Виправити групи меж
Очистити номери груп вибраних класів	Змінити групи > Очистити за класом
Скопіюйте атрибут групи з найближчої сусідньої точки	Змінити групи > Копіювати з найближчого
Розбийте групи за класами	Змінити групи > Розділити групи за класами
Намалюйте багатокутники навколо груп точок	Векторизація > Намалювати багатокутники
Виявляйте позначки фарбою з даних хмари точок	Векторизація > Знайти лінії фарби
Визначати полюси з даних хмари точок	Векторизація > Знайти полюси
Виявляйте повітряні дроти з даних хмари точок	Векторизація > Знайти дроти
Створення 3D моделей будівель	Векторизація > Векторизація будівель
Виклик функції Addon	Команда addon
Відрегулюйте кути зміщення	Відрегулюйте кути
Застосуйте файл корекції TerraMatch до даних лазера	Застосувати корекцію
Призначте колір лазерним точкам	Призначити колір
Створіть модель поверхні в TerraModeler	Створити модель
Додайте рядок коментаря до макросу	коментар
Обчислити вектори нормалей для лазерних точок	Обчисліть нормальні вектори
Розрахувати параметри поперечних перерізів доріг	Розрахувати параметри перетину
Розрахунок ухилів дорожніх покриттів	Обчисліть стрілки нахилу
Перетворення міток часу лазерних даних	Перетворення міток часу
Відсікайте точки від далеких вимірювань	Стрижте довго
Відріжте точки від ліній, що накладаються	Вирізати внахлест
Призначте номер лінії від траєкторій лазерним точкам	Вивести номери рядків
Видалити точки певного класу(ів)	Видалити за класом
Видалити точки певних ліній(ів)	Видалити по рядку
Виконайте команду Windows	Виконати команду
Експортувати модель решітки	Експортна решітка
Витягніть додаткові точки з інформації про сигнал	Витягти віддуння
Зафіксуйте висоту точок	Зафіксувати висоту
Виконайте команду введення	Тоді командуйте
Налаштуйте колірні значення точок	Змінити колір
Змінити номери рядків точок	Змінити нумерацію рядків
Збережіть бали в нові файли	Вихідні точки
Збережіть точки в нових файлах, розділених лініями	Виведення по рядку
Збережіть бали в оригінальний файл	Збережіть бали
Маніпулювати значеннями інтенсивності	Інтенсивність шкали
Запустіть пошук рівних ліній у TerraMatch	Пошук стяжок
Згладьте висоту точок	Згладьте точки
Сортуйте точки за мітками часу або значеннями координат	Сортування точок
Тонкий вказує на меншу щільність	Тонкі точки
Застосуйте трансформацію до точок	Точки трансформації
Оновіть відображення файлу CAD	Оновити перегляди
Створіть набір даних точок розділу	Напишіть пункти розділу
Запишіть точки у файл CAD	Пишіть в дизайн

Рис. 2.2.1.15. Таблиця з описом наявних параметрів Macro Step.

Висновки до розділу 2

Вибір методу залежить від конкретних потреб і можливостей проекту: Якщо необхідний швидкий та ефективний моніторинг за доступними витратами, загальна методика може бути оптимальним рішенням. У той же час, якщо потрібна висока точність та деталізація, а готові вкласти зусилля та ресурси у використання передових технологій, лідарне знімання буде кращим варіантом.

Комбінація методів може бути ефективним підходом: У деяких випадках комбінування різних методів моніторингу може дати найкращий результат. Наприклад, поєднання традиційних методів моніторингу з лідарним зніманням може забезпечити оптимальний баланс між точністю та вартістю.

Належна підготовка та аналіз результатів є ключовими для успішності проекту незалежно від обраного методу. Це включає чітке визначення потрібної точності, аналіз зібраних даних та досягнення конкретних результатів для моніторингу ліній електропередач.

Щодо класифікації, то поєднання ручної та автоматичної класифікації для обробки сирого матеріалу у геоінформаційних системах є ключовим стратегічним кроком у лідарних даних. Автоматична класифікація дозволяє швидко та ефективно обробляти великі обсяги даних, забезпечуючи високу продуктивність та економію ресурсів. У той же час, ручна класифікація дозволяє досягти вищої точності та уникнути помилок, особливо у складних сценаріях. Поєднання цих методів надає можливість максимально використовувати переваги кожного підходу, забезпечуючи якісні та надійні результати аналізу геоданих. Такий гібридний підхід стає невід'ємною складовою сучасних геоінформаційних систем, забезпечуючи швидкий розвиток та високу ефективність геопросторового аналізу і досліджень.

**РОЗДІЛ 3 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ МОНІТОРИНГУ
ЛЕП ЗА ДАНИМИ ЛІДАРНОГО ЗНІМАННЯ
Методика збору вихідних даних**

РОЗДІЛ 3 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ МОНІТОРИНГУ ЛЕП ЗА ДАНИМИ ЛІДАРНОГО ЗНІМАННЯ. Методика збору вихідних даних

3.1 Опис тестових даних.

Для виконання практичної реалізації моніторингу ЛЕП було використано дані лідарного знімання для об'єкту лінії електропередач на території країни Норвегії, поблизу містечка Берг на східному узбережжі країни.

Сам об'єкт знаходиться на рівнинній території з полями та лісами. Також є сільська місцевість. Місцями об'єкт перетинає водойми такі як річки та канали.



Рис. 3.1.1. Буферна зона об'єкта з допоміжними векторами.

У буферній зоні знаходяться допоміжні вектори доріг, річок та самої лінії електропередач. Найчастіше допоміжні вектори створюють для полегшення роботи, так швидше можна знайти певний об'єкт. Також допоміжні вектори вказують на те, що потрібно провести класифікацію певного об'єкту.

Для виконання певних робіт з об'єктом, потрібно чітко поставити завдання відповідно до методики моніторингу ЛЕП.

Завдання відповідно до методики моніторингу ЛЕП:

1. Технічне завдання.

Необхідно побудувати ЦМР для об'єкту лінії електропередач поблизу містечка Берг на східному узбережжі Норвегії. Для цього потрібно зібрати та обробити наступні показники:

- Висота точок місцевості
- Координати точок (X, Y, Z)
- Відмітки рельєфу

2. Збір даних:

Збір даних здійснюватиметься за допомогою лідарного знімання. Використовуватиметься система Velodyne HDL-32E, яка має такі параметри:

- Точність: 2 см
- Щільність точок: 150/200 точок на квадратний метр
- Дальність: до 100 метрів

3. Оброблення даних.

Після збору даних необхідно провести їх обробку, яка включає такі етапи:

- Класифікація: Визначення та маркування різних об'єктів на місцевості, таких як дороги, річки, поля, лісові масиви та лінії електропередач.
- Векторизація: Перетворення класифікованих даних у векторні форми для подальшого аналізу та інтеграції в ГІС (геоінформаційні системи).
- Створення ЦМР: Побудова цифрової моделі рельєфу на основі класифікованих та векторизованих даних.
- Заповнення бази даних (БД): Внесення отриманих та оброблених даних у відповідну базу даних для подальшого аналізу та використання.

Після поставлення чіткого технічного завдання та збору даних відповідно до методики моніторингу ЛЕП, виконується автоматична класифікація. Для оброблення даних цього об'єкту було застосоване програмне забезпечення MicroStation, через його потужні інструменти для роботи з геопросторовими та лідарними даними. MicroStation дозволяє автоматизувати завдання, такі як класифікація та векторизація, забезпечуючи високу точність і надійність обробки. Тому використаємо автоматичну класифікацію за допомогою макросу.

Макрос визначає, до якого класу віднести кожен точку на основі її характеристик (висота, відбивна здатність, місце розташування тощо). Класи визначаються відповідно до типу об'єктів на місцевості. Нижче наведено список класів, які використовуються в процесі класифікації:

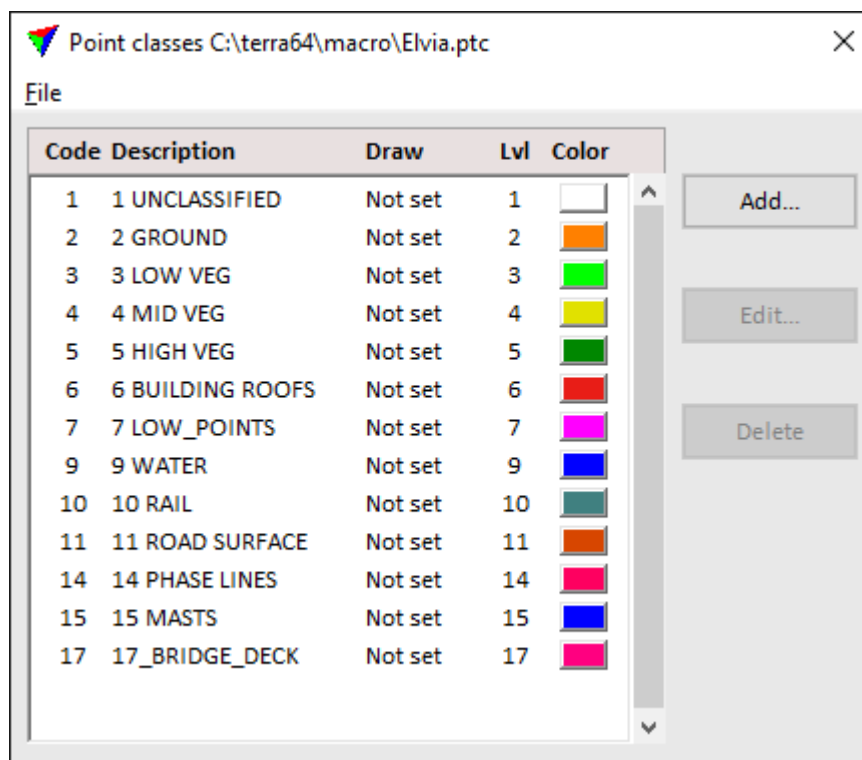


Рис. 3.1.2. Діалогове вікно Point classes з типами кольору певного класу.

Клас 1: Тераси, автомобілі, різні об'єкти штучного походження.

Клас 2: Ґрунт.

Клас 3: Низька рослинність.

Клас 4: Середня рослинність.

Клас 5: Висока рослинність.

Клас 6: Будинки (тільки дахи; стіни в класі 1).

Клас 7: Шуми.

Клас 9: Вода

Клас 11: Дороги.

Клас 14: Фазові лінії основні.

Клас 15: Стовпи основні.

Клас 17: Мости.

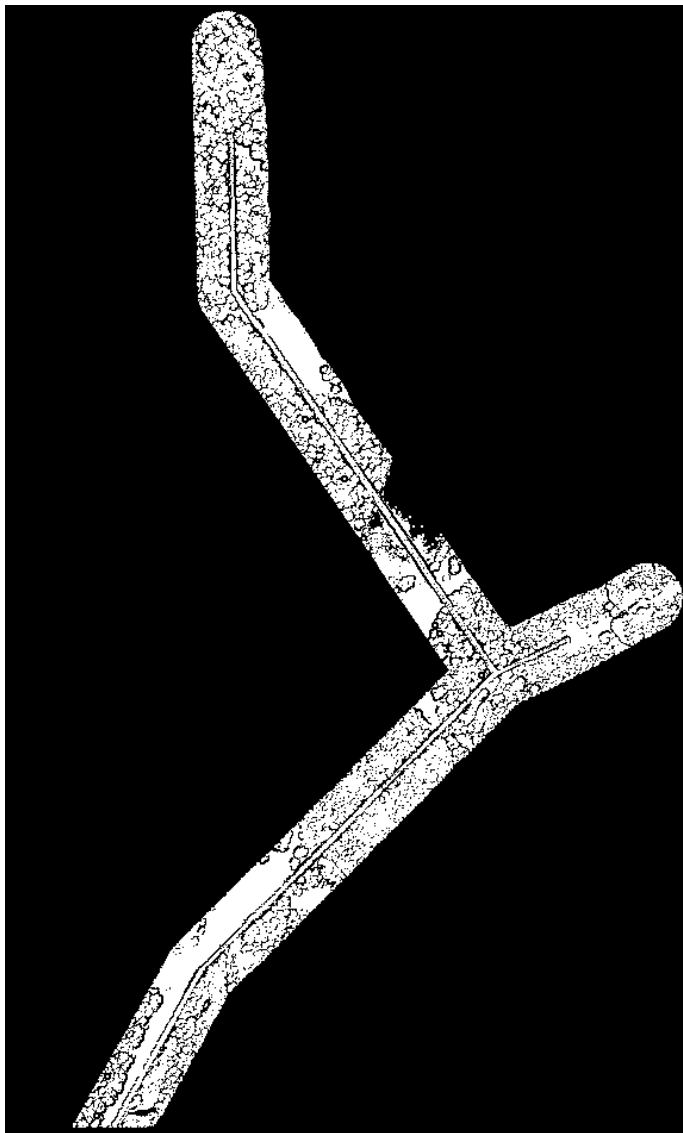


Рис. 3.1.3. Вигляд хмари точок до застосування макросу.

На малюнку видно що усі точки знаходяться у одному класі. Так виглядає хмара точок до автоматичної класифікації. Тому створюємо макрос з чіткими параметрами, щоб автоматично розподілити хмару точок по певним типам класу.

Для створення макросу повернемося до розділу 2 пункту 2.2.1, а саме до малюнку 2.2.1.14. та 2.2.1.15. на цих малюнках показано діалгове вікно з інструментом Macro Step та таблицю з описом параметрів. За цими параметрами і створимо макрос.

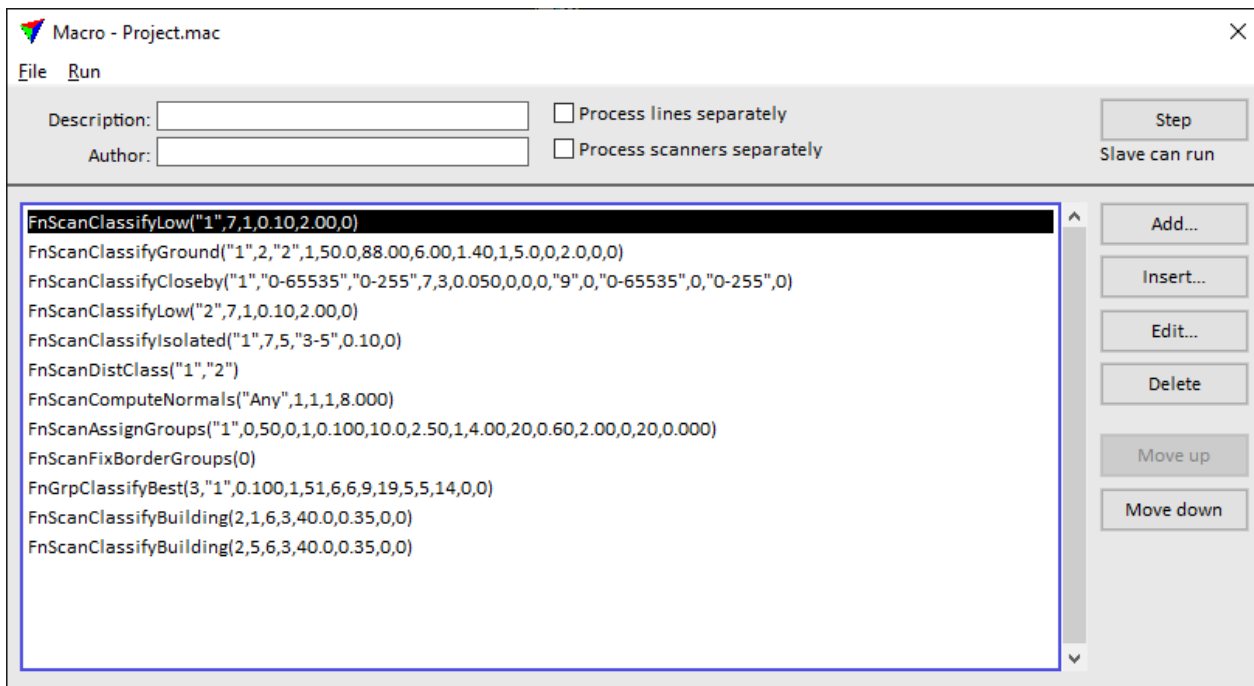


Рис. 3.1.4. Діалгове вікно Macro

Після створення, макрос можна запускати. Це може тривати певний період часу, залежить від ПК.



Рис. 3.1.5. Хмара точок після автоматичної класифікації з допомогою макросу.

Після закінчення автоматичної класифікації з допомогою макросу, можна побачити як виглядає хмара у кольорах певного типу класу. Та чітко видно лінію електропередачі після автоматичної класифікації з допомогою макросу.

Наступним кроком буде доопрацювання хмари після автоматичної класифікації з допомогою ручної класифікації використовуючи інструменти описані у розділі 2 пункті 2.2.1 [17].

Було вибрано кілька опор та провідників для ручної класифікації, та кілька додаткових об'єктів, таких як дороги, будинки та річки. Та зроблено порівняння після автоматичної класифікації та ручної класифікації. Ручну класифікацію будемо проводити на хмарі точок, на котрій вже провели автоматичну класифікацію з допомогою макросу.

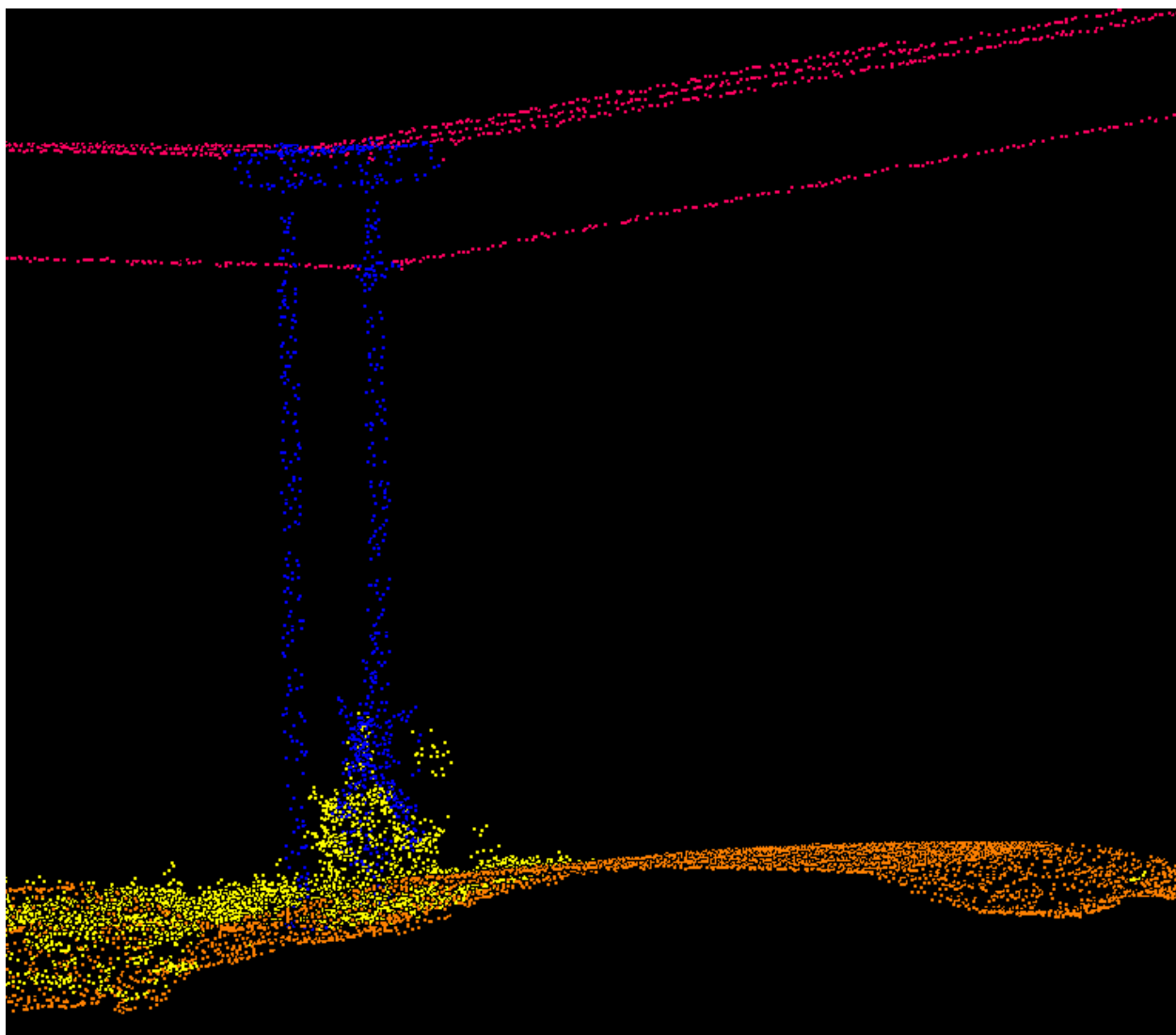


Рис. 3.1.6. Опора після автоматичної класифікації.

На цьому малюнку зображена опора з провідниками та дорогу. Біля опор є рослинність котра знаходиться не у своєму жовтому 4 – класі, а у синьому 15 – класі, класі опор. Також видно що дорогу автоматична класифікація не змогла відкласифікувати.

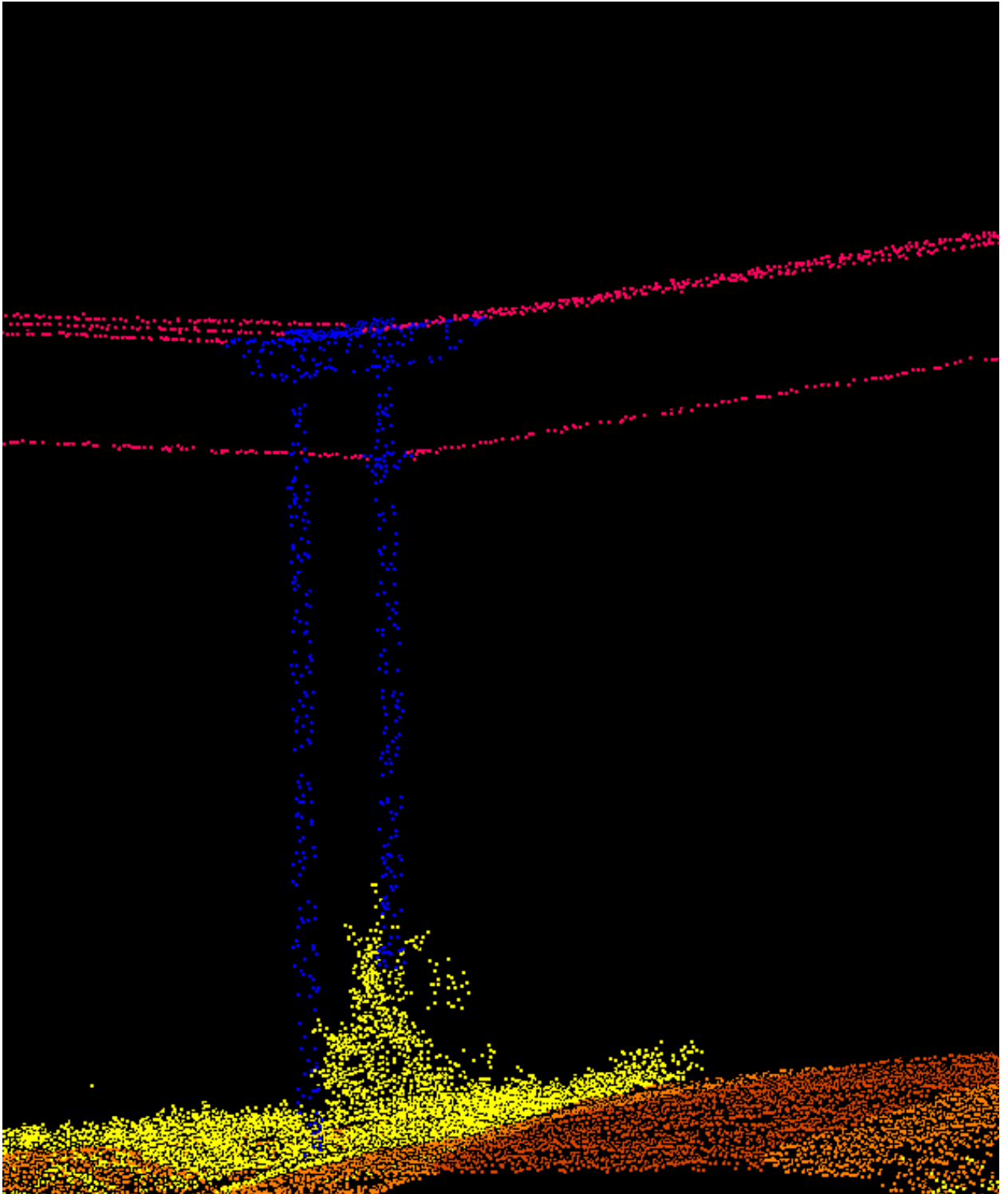


Рис. 3.1.7. Опора після ручної класифікації.

Щодо ручогої класифікації, то бачимо що рослинність вже знаходиться у своєму класі, а дорога є відкласифікованою. Також на траверсі рівно відкласифіковані провідники у червоний 15 – клас. Опори та ізолятори у своєму синьому 15 – класі.

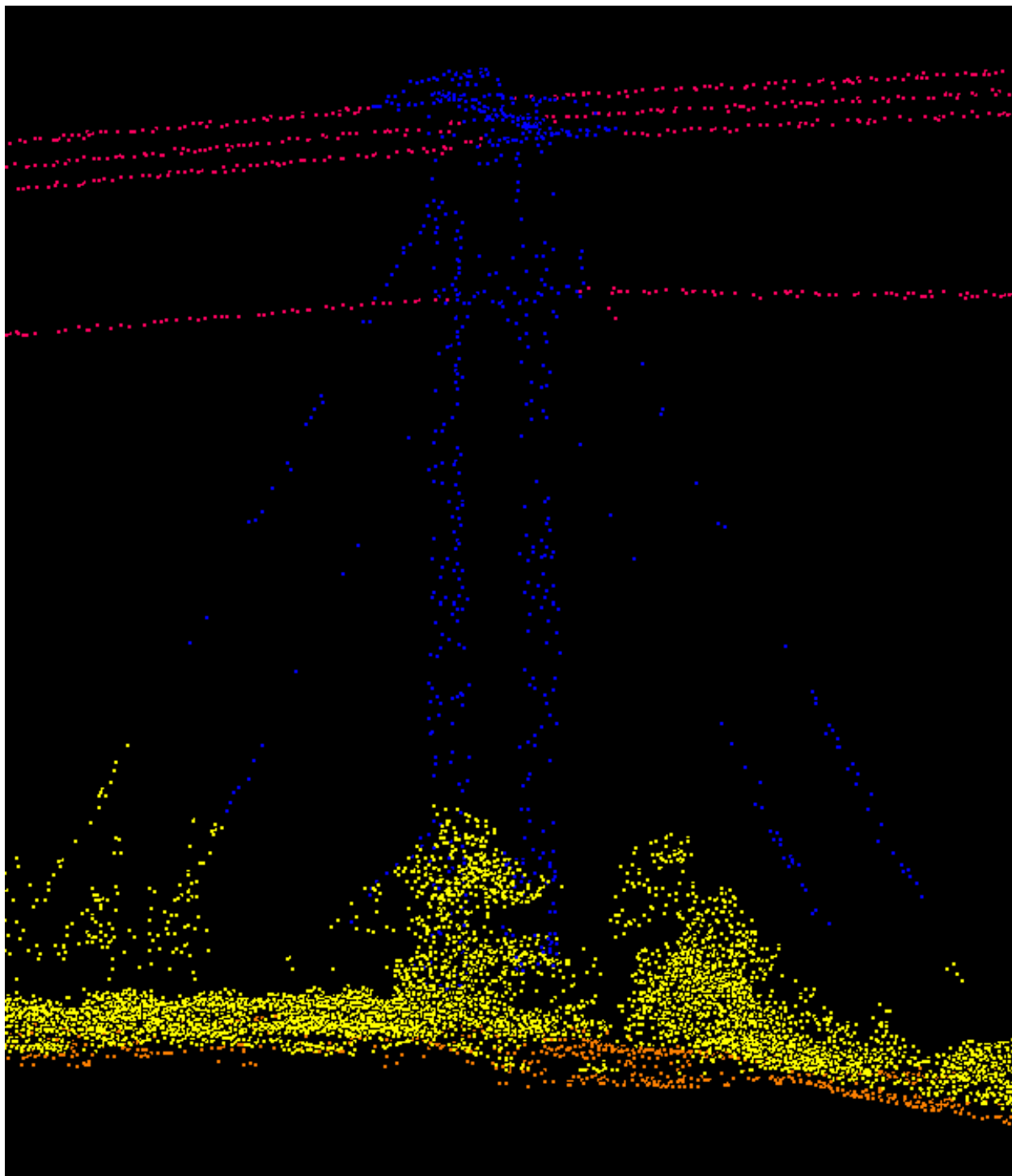


Рис. 3.1.8. Опора після автоматичної класифікації.

На малюнку чітко видно, що автоматична класифікація не до кінця перекинула відтяжки опори у синій 15 – клас. Жовтий 4 – клас рослинності залишився на

відтяжках. Теж саме і з самою опорою, на кругом опори рослинність і на ній є точки опори.

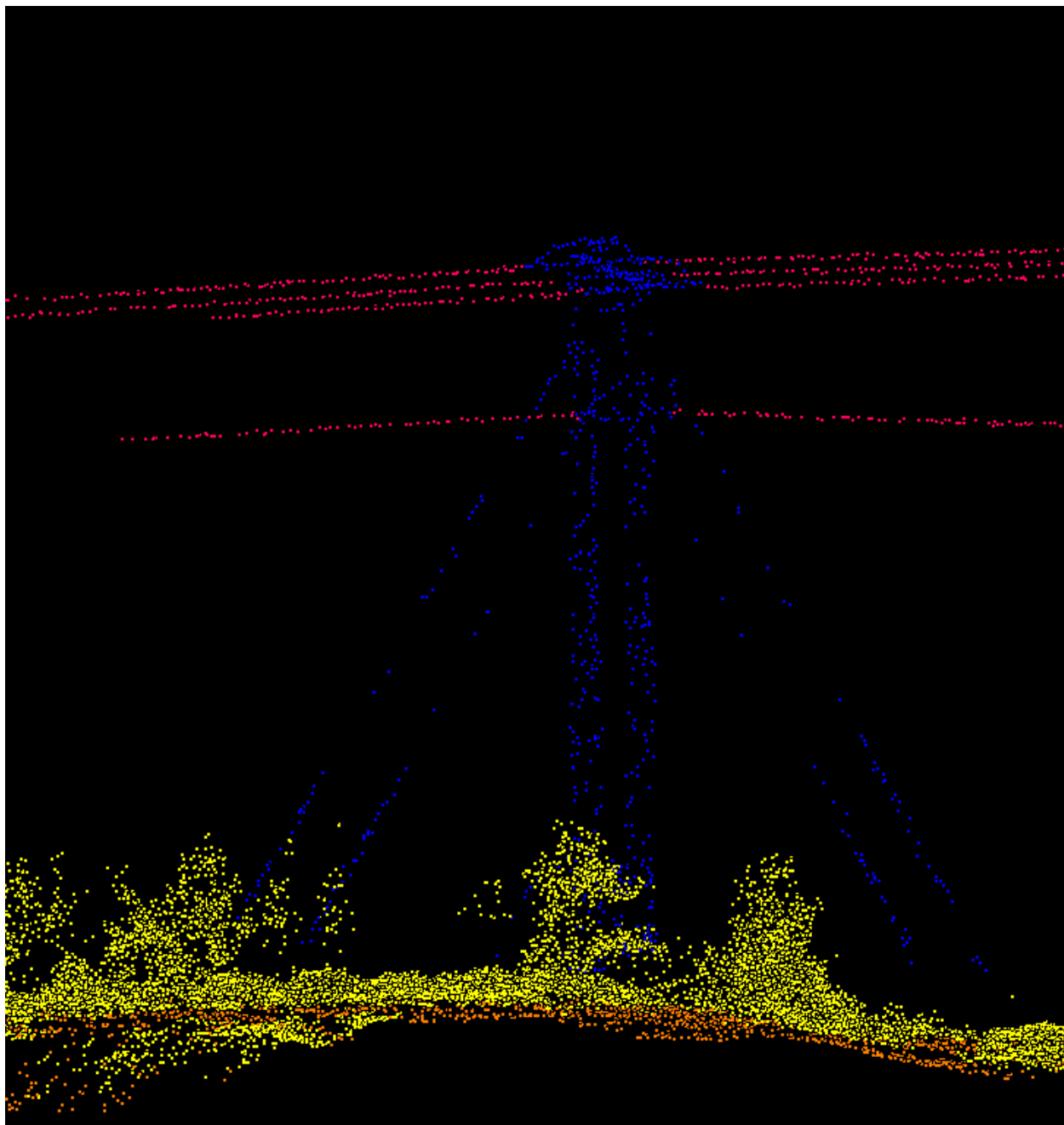


Рис. 3.1.9. Опора після ручної класифікації.

На зображенні вже чітко видно що відтяжки відкласифіковані правильно, та опори і рослинність знаходяться у своїх правильних класах.

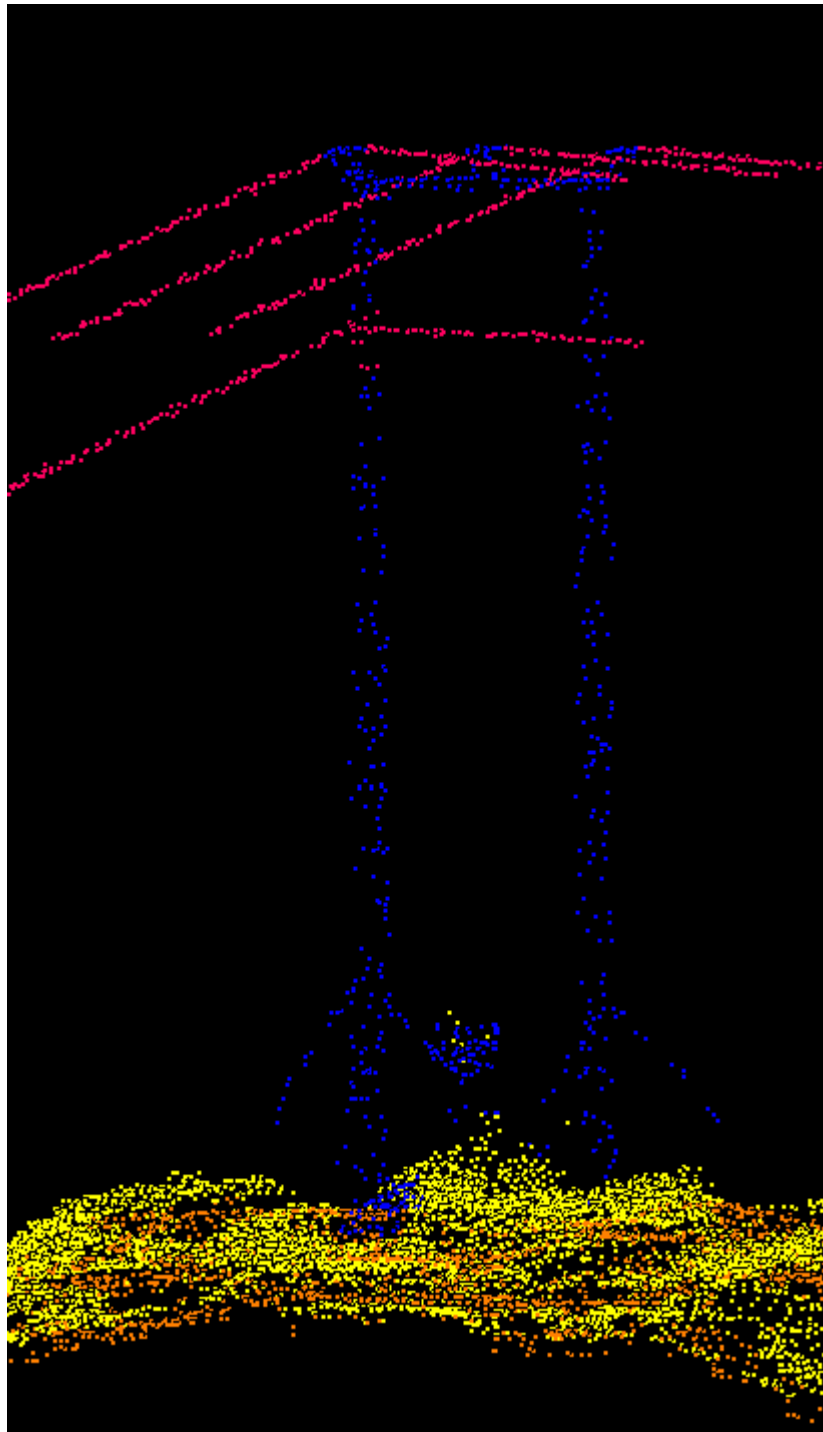


Рис. 3.1.10. Опора після автоматичної класифікації.

На малюнку можна роздивитись деревце між опорами яке знаходиться не в класі рослинності а в класі опор. Та на опорі не правильно відкласифіковано провідник.

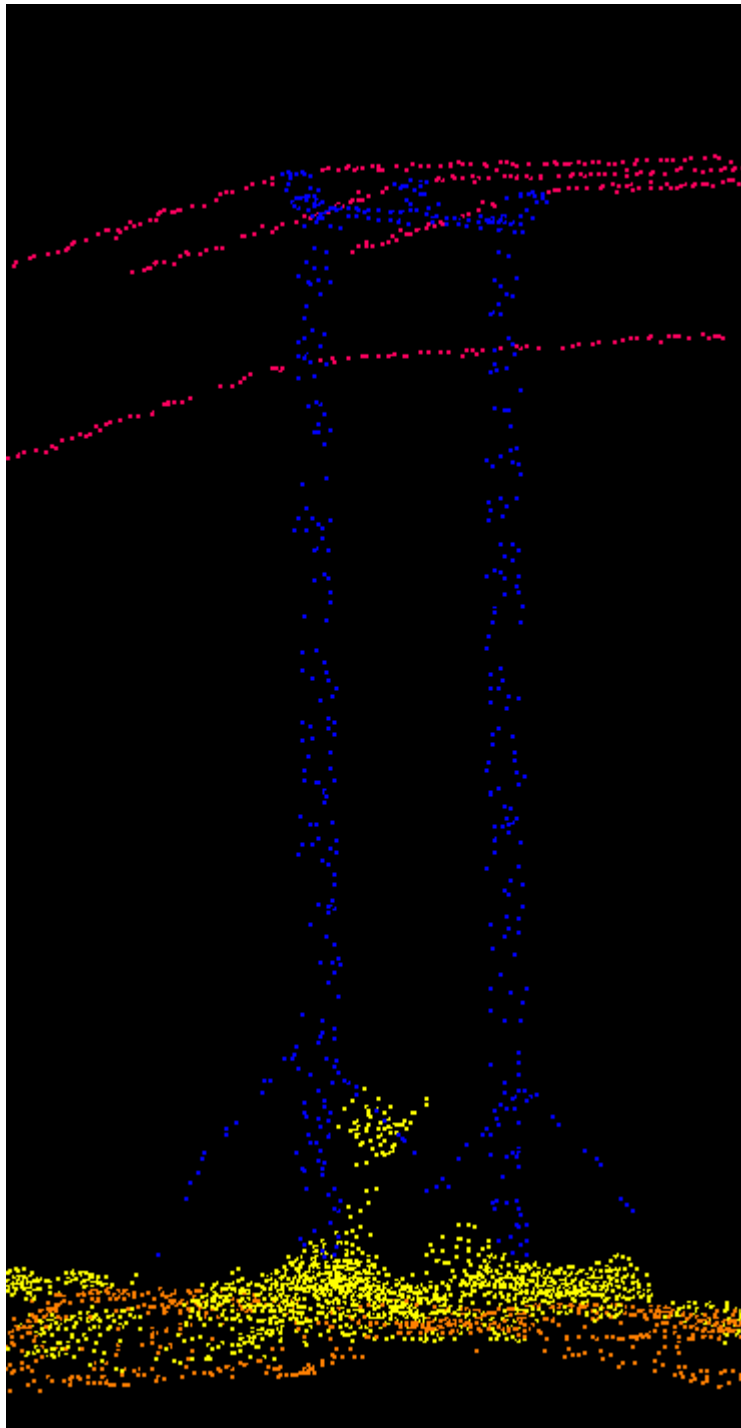


Рис. 3.1.11. Опора після ручної класифікації.

Після ручної класифікації рослинність перекинута в клас рослинності а опори в клас опор. Так же само і провідник який був в опорі відкласифікований прравильно у свій червоний 14 – клас.

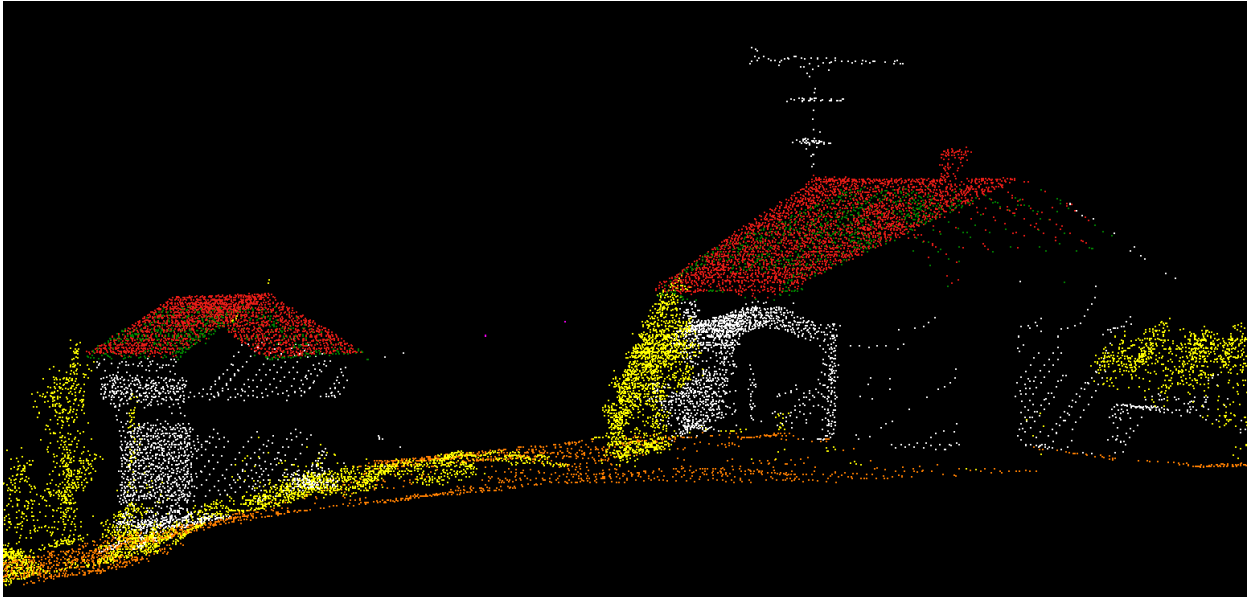


Рис. 3.1.12. Будинки після автоматичної класифікації.

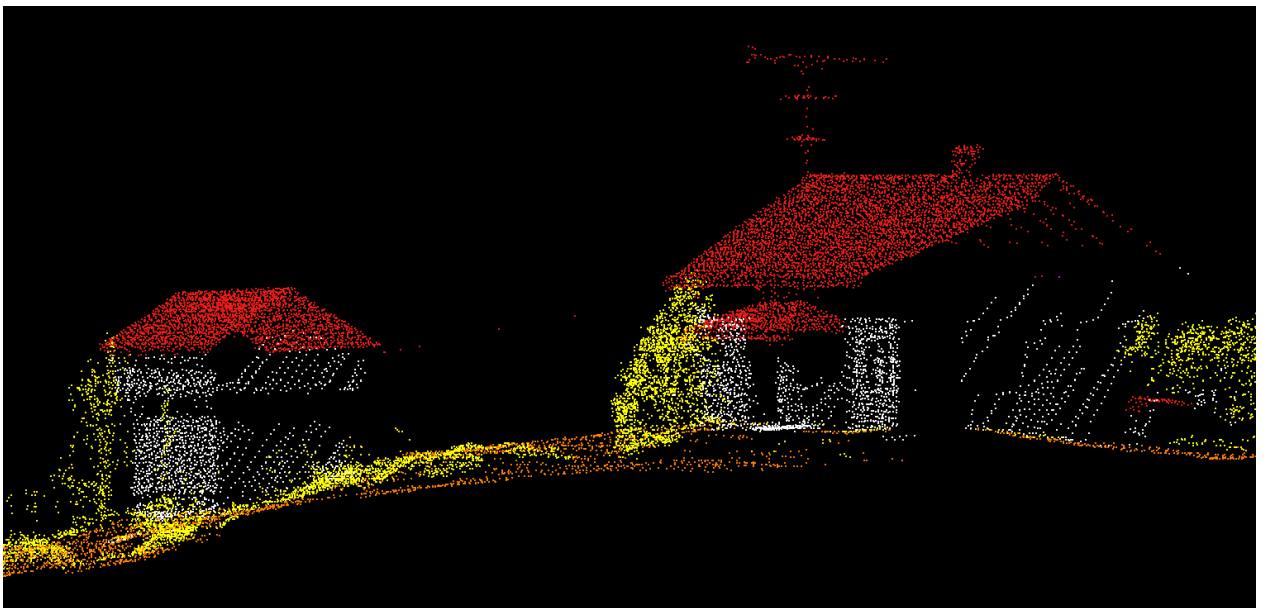


Рис. 3.1.13. Будинки після ручної класифікації.

Щодо будинків, то після автоматичної класифікації дах будинку був змішаний з класом рослинності 5 – класу, та частина даху була взагалі у білому 1 – класі. Порівнюючи ручну класифікацію з автоматичною то можна сказати чітко, що ручна класифікація це якісна робота.

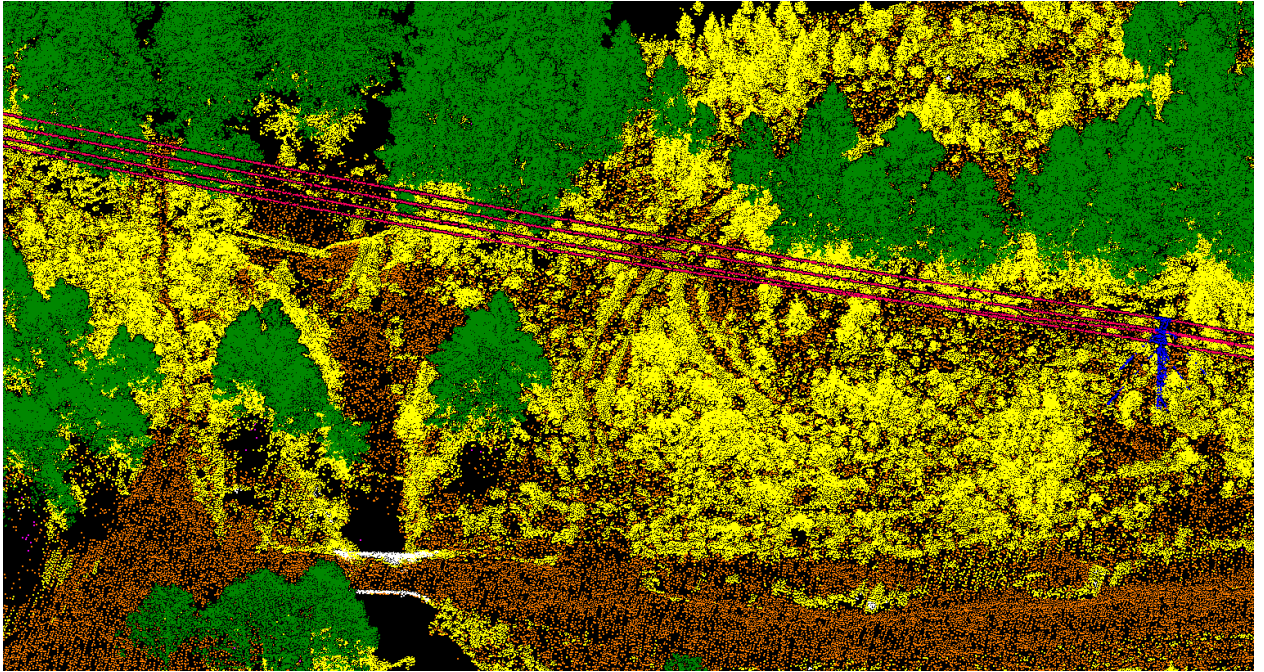


Рис. 3.1.14. Після автоматичної класифікації.

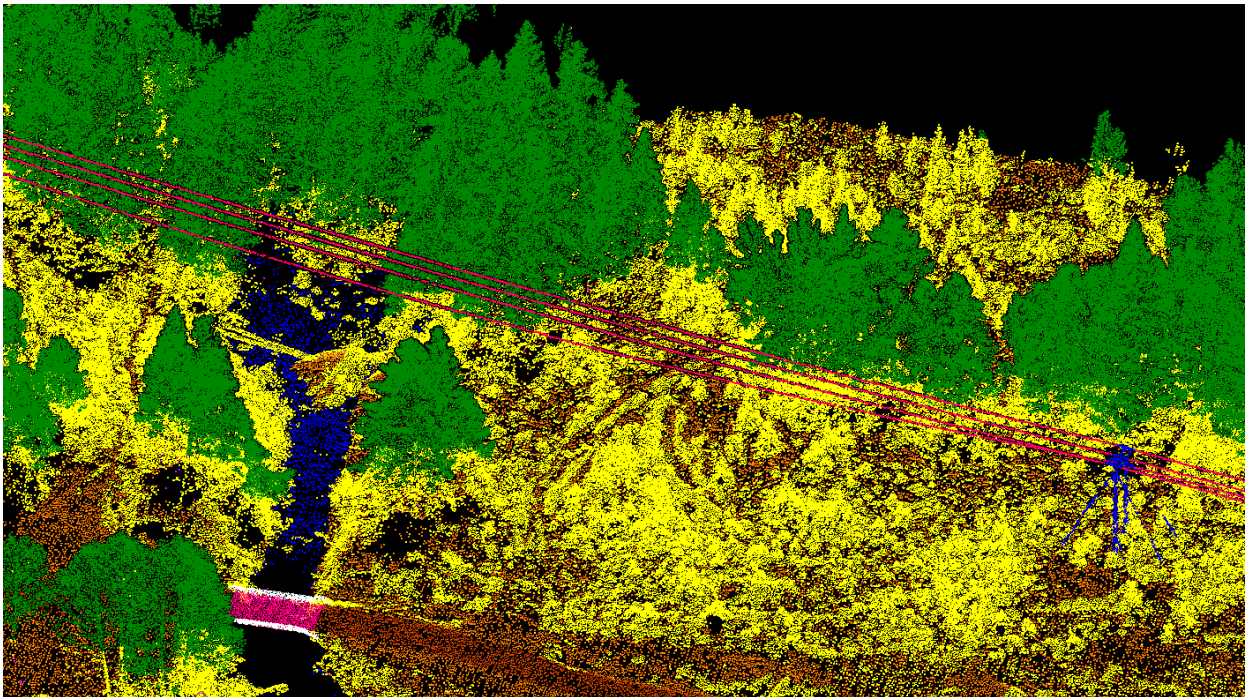


Рис. 3.1.15. Після ручної класифікації.

Якщо порівнювати ці два малюнки між собою, то можна сказати що ручна класифікація це чітке виконання роботи за для високої якості та гарних результатів. Автоматична класифікація не змогла відкласифікувати річку, дорогу та міст. Таким чином, застосування автоматичної класифікації не можливо через суттєву втрату об'єктів місцевості при заповненні БГД.

3.2 Виконання моніторингу ЛЕП за даними лідарного знімання

Після виконання всієї ручної класифікації на об'єкті, можна провести моніторинг за такими показниками:

1. Розмір охоронної зони:

Розміри охоронної зони мають відповідати вимогам правил охорони електричних мереж, зазначеним у № 457 від 09.05.2023 року [4].

2. Відстань від верху дерев до проводів:

Відстань від верху крон дерев до проводів, зазначеними вимогам правил охорони електричних мереж, зазначеним у № 457 від 09.05.2023 року [4].

3. Будівництво поблизу ліній електропередач:

Будівництво під лініями електропередач не допускається, тому потрібно перевірити відсутність будівель в цих зонах.

4. Стан елементів мережі:

Стан опор, ізоляторів, відтяжок, траверсів та провідників має бути перевірений, щоб всі елементи були в робочому стані.

5. Стріла провисання проводу:

Слід виявити провідники з великою стрілою провисання, особливо в небезпечних зонах над річками, для оцінки стану та необхідності вжиття заходів.

6. Векторна модель для моніторингу:

Створення векторної моделі для полегшення перевірки деталей та виявлення несправностей у всіх елементах мережі. Векторизація об'єктів ЛЕП дозволяє порівнювати стан нових даних зі старими та майбутніми.

Проведений моніторинг ЛЕП за показниками зазначеними вище:

1. Охоронна зона ЛЕП:

Розміри охоронної зони в межах об'єкта відповідають вимогам правил охорони електричних мереж, зазначеним у № 457 від 09.05.2023 року [4].



Рис. 3.2.1. Охоронна зона в межах ЛЕП.

Рисунок 3.2.1 показує візуалізацію охоронної зони навколо ЛЕП, що допомагає у визначенні її розмірів та відповідності встановленим вимогам.

2. Відстань від верху дерев до проводів:

Виявлено, що відстань по вертикалі від верху крон дерев до проводу повітряної лінії електропередачі перевищує 2 метри, що потребує корекції для уникнення можливих аварій.

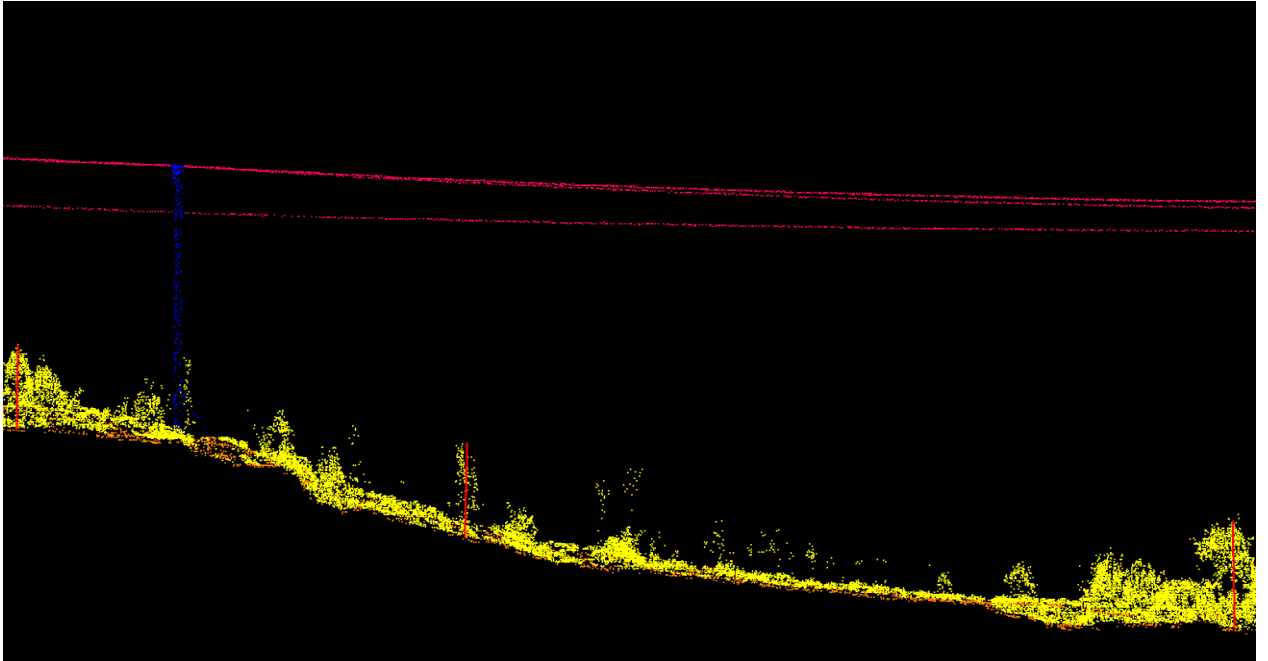


Рис. 3.2.2. Дерева які перебільшують норму 2-х метрів у висоту.

Рисунок 3.2.2 демонструє дерева, які перевищують цю норму висоти та потребують уваги.

3. Будівництво поблизу ліній електропередач:

Згідно правил охорони електричних мереж, будівництво будь-яких будівель під лініями електропередач не допускається.

4. Стан елементів мережі:

Усі опори, ізолятори, відтяжки, траверси та провідники перевірені і знаходяться у робочому стані.

5. Стріла провисання проводу:

Виявлено провідник з великою стрілою провисання, що знаходиться у небезпечній зоні над річкою.

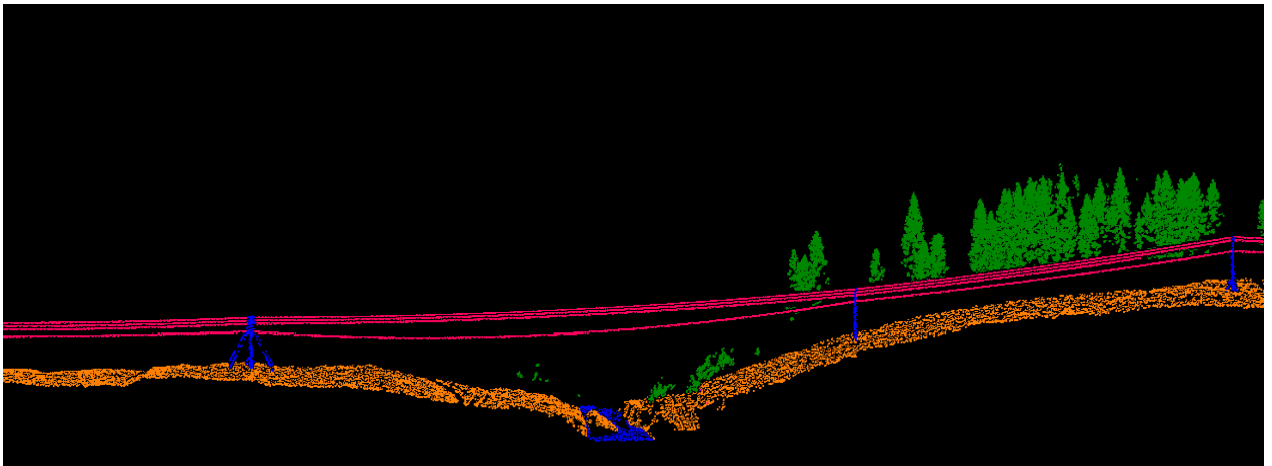


Рис. 3.2.3. Місце провисання стріли.

Рисунок 3.2.3 демонструє місце провисання стріли та допомагає в оцінці стану та необхідності вжиття заходів.

6. Векторна модель для моніторингу:

Розроблена векторна модель для легшої перевірки деталей та виявлення несправностей у всіх елементах мережі. Для створення векторної моделі використали вектори які знаходяться в певних векторних шарах. Нижче наведено список шарів котрі були використані у створенні векторної моделі.

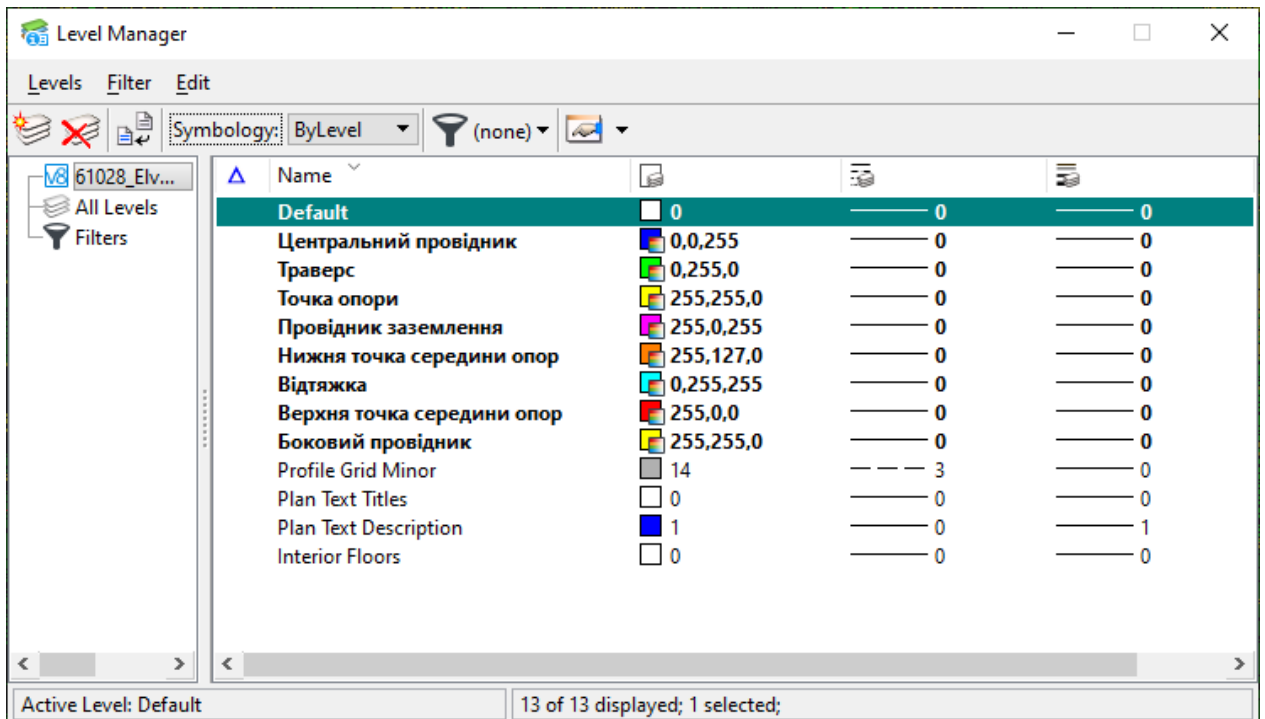


Рис. 3.2.4. Діалогове вікно Level Manager з шарами та правильно заповненою

БД.

За допомогою вектора можна порівняти стан нових даних зі старими та в майбутньому з новими.

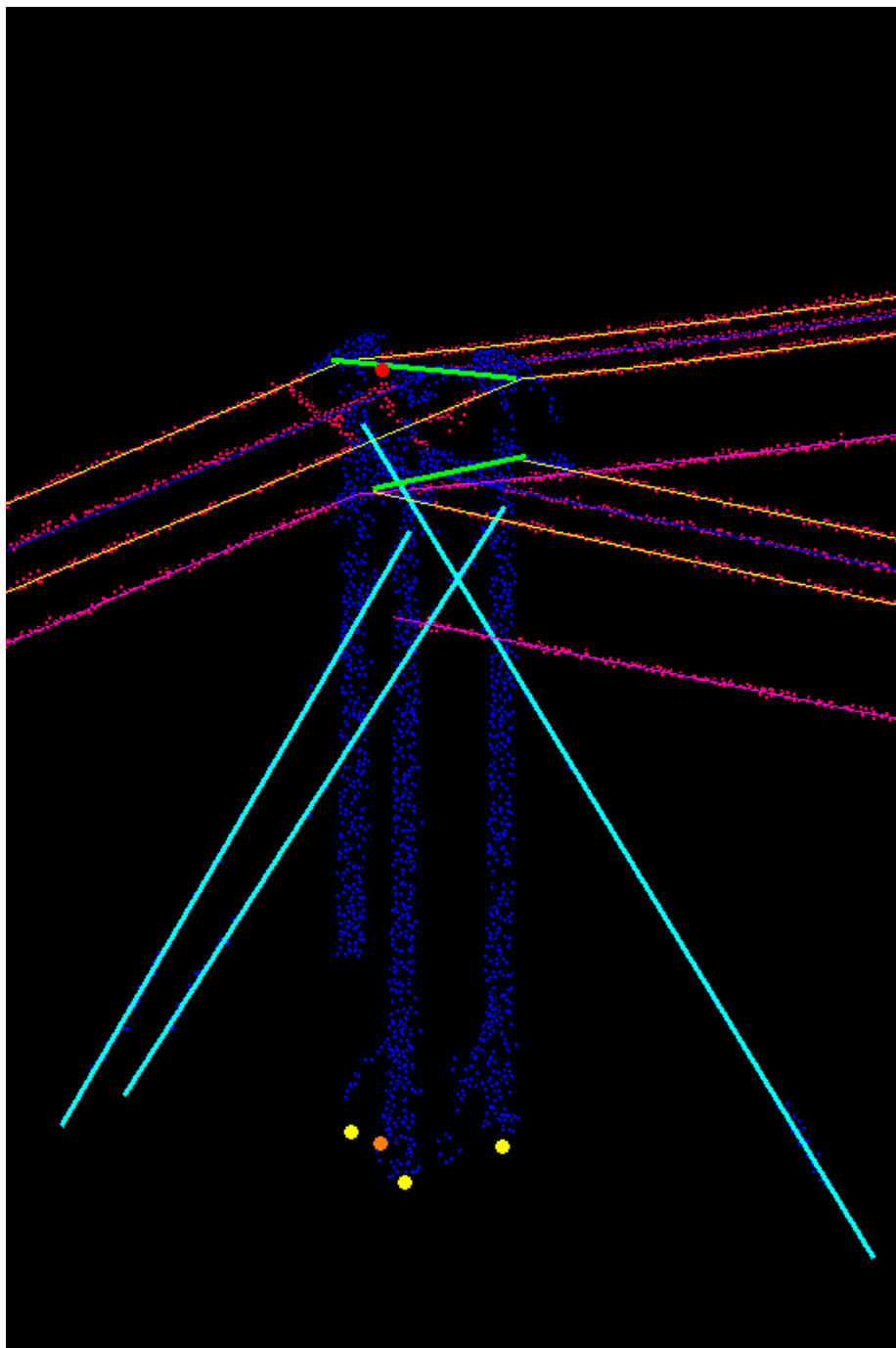


Рис. 3.2.5. Векторна модель провідників, траверсів, відтяжок та точок ножок опор, верх та низ середини опор.

Рисунок 3.2.3 демонструє векторну модель провідників, траверсів, відтяжок та точок ножок опор та верх і низ їх середини, що полегшує аналіз та моніторинг.

Висновки до розділу 3

В роботі виконано оброблення даних лідарного знімання, а саме фільтрацію, класифікацію за допомогою макросів та ручну класифікацію хмари точок. Результат порівняння автоматичної та ручної класифікації свідчить про високу точність ручного підходу у виявленні дрібних деталей та коригуванні помилок автоматичної класифікації.

Проведено моніторинг ділянки ЛЕП за такими показниками:

- Розмір охоронної зони;
- Відстань від верху дерев до проводів;
- Будівництво поблизу ліній електропередач;
- Стан елементів мережі;
- Стріла провисання проводу.

Візуалізація ділянки мережі виконана на основі векторизації об'єктів ЛЕП, таких як лінії електропередач, точки середини верху та низу опор, відтяжок та траверсів, точки ніжок опор. Це дозволяє отримати детальну картину стану та розташування всіх ключових елементів інфраструктури для ефективного моніторингу та аналізу.

ВИСНОВКИ

У сучасному світі електроенергетика є ключовою для розвитку суспільства та економіки, а лінії електропередач (ЛЕП) є її основою. Надійне функціонування ЛЕП вимагає постійного моніторингу та технічного обслуговування, для чого використовуються сучасні технології, такі як лідарне знімання. Лідар дозволяє створювати точні цифрові моделі поверхні, що допомагає детально відстежувати стан ЛЕП, виявляти пошкодження та прогнозувати можливі ризики.

У дипломному проекті було досліджено, як лідарне знімання можна інтегрувати в систему моніторингу ЛЕП для підвищення їх ефективності та надійності. Проект включає аналіз сучасних технологій моніторингу, розробку методології з використанням лідару та практичну реалізацію моніторингу.

Виконано обробку даних лідарного знімання, включаючи фільтрацію та класифікацію хмари точок за допомогою макросів та ручного підходу. Порівняння методів показало, що ручна класифікація є точнішою для виявлення дрібних деталей та виправлення помилок автоматичної класифікації. Проведено моніторинг ЛЕП за такими показниками, як розмір охоронної зони, відстань від дерев до проводів, будівництво поблизу ліній, стан елементів мережі та стріла провисання проводу. Візуалізація мережі на основі векторизації ключових елементів дозволила отримати детальну картину їх стану та розташування.

Поєднання автоматичної та ручної класифікації забезпечило баланс між точністю та продуктивністю, що підвищило ефективність геопросторового аналізу. Результати дослідження можуть бути корисними для підвищення надійності та ефективності експлуатації електромережі, сприяючи сталому розвитку електроенергетики.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ:

1. Конструктивні параметри ЛЕП:
<https://ukrprovod.com.ua/uk/konstruktivni-parametri-lep>
2. Приватне акціонерне товариство Проектно-вишукувальний Науково-дослідний Конструкторсько-технологічний інститут УКРЗАХІДЕНЕРГОПРОЕКТ:
<http://www.uzep.com.ua/ukrainian/39-ukrainian/interesting-to-know-cat-ua/610-high-voltage-lines>
3. ДБН В.2.5-16-99 "Визначення розмірів земельних ділянок для об'єктів електричних мереж":
https://e-construction.gov.ua/laws_detail/3074916889835603006?doc_type=2
4. Про затвердження Правил охорони електричних мереж:
<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1455-2022-п#Text>
5. Monitoring power transmission lines using a wireless sensor network:
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/ft/10.1002/wcm.2458>
6. Using LiDAR for power line inspection – Hepta:
<https://heptaairborne.com/lidar-power-line-inspection-advantages/>
7. Геоінформаційні системи як інструмент реалізації концепції Smart Grid та шлях до ефективного енергозбереження:
https://core.ac.uk/display/52159458?utm_source=pdf&utm_medium=banner&utm_campaign=pdf-decoration-v1
8. Benefits for LiDAR Transmission Line Inspection:
<https://www.lidarsolutions.com.au/lidar-solutions/lidar-survey-inspection-services/lidar-powerline-transmission-line-inspection>
9. Power Line Monitoring through Data Integrity Analysis with Q-Learning Based Data Analysis Network: <https://www.mdpi.com/2072-4292/15/1/194>
10. Modern approaches of high-voltage transmission lines monitoring:
https://www.academia.edu/101648411/Modern_approaches_of_high_voltage_transmission_lines_monitoring

11. Про затвердження Інструкції з топографічного знімання у масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 та 1:500 (ГКНТА-2.04-02-98): <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0393-98#Text>
12. [СОУ 71.12-37–948:2014: База Топографічних даних. Правила цифрового опису рельєфу. Стандарт Мінагрополітики України, 2014]: <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjWreGT4JSGAxUxRPEDHQYYDH4QFnoECBQQAQ&url=https%3A%2F%2Fnsdi.gov.ua%2Ffiles%2Flegislation%2Fb691cae0-0a8b-11e8-a9c9-d16a7205336d.pdf&usg=AOvVaw3jzfPq-hCgCNmCld8KefB7&opi=89978449>
13. LiDAR Data Processing: <https://equatorstudios.com/lidar/lidar-data-processing>
14. TerraScan new features / Режим доступу: <https://terrasolid.com/products/terrascan/>
15. Terrasolid – point cloud processing software / Режим доступу: <https://terrasolid.com/industries/powerline/>
16. Digital Terrain Model (DTM): <https://slideplayer.com/slide/4635898/>
17. Посібник користувача TerraScan : <https://terrasolid.com/guides/tscan/masearchtielines.html>

ДОДАТКИ