

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

ВАШ ЯРОСЛАВ ІВАНОВИЧ

УДК 528.88:502.131.1:711.14

ДИСЕРТАЦІЯ

**ІНВЕНТАРИЗАЦІЯ ЗЕЛЕНИХ НАСАДЖЕНЬ В НАСЕЛЕНИХ ПУНКТАХ
МЕТОДАМИ НАЗЕМНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНУВАННЯ**

Спеціальність: 193 Геодезія та землеустрій
(шифр і назва спеціальності)

Галузь знань: 19 Архітектура та будівництво
(галузь знань)

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

_____/ Я.І. Ваш /
(підпис, ініціали та прізвище здобувача)

Науковий керівник

Губар Юрій Петрович, доктор технічних наук, професор
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Львів – 2025

АНОТАЦІЯ

Ярослав Ваш. Інвентаризація зелених насаджень в населених пунктах методами наземного лазерного сканування. — Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 193 — Геодезія та землеустрій. — Національний університет «Львівська політехніка», Міністерства освіти і науки України, Львів, 2025.

Дисертація присвячена дослідженню теоретичних узагальнень і практичних рекомендацій щодо удосконалення методики інвентаризації зелених насаджень для потреб кадастру із застосуванням наземного лазерного сканування. Актуальність інвентаризації зелених насаджень зумовлена низкою факторів. По-перше, зростання антропогенного тиску через урбанізацію й промисловий розвиток призводить до зменшення кількості зелених зон, що негативно впливає на екологію та якість життя. По-друге, недосконалість нормативно-законодавчої бази та відсутність єдиних стандартів ускладнюють процес інвентаризації й управління зеленими насадженнями.

Дисертація складається зі вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел.

У першому розділі «Сучасний стан кадастрової інвентаризації зелених насаджень» визначено різні правові й технічні аспекти наповнення кадастру (баз даних) про зелені насадження в населених пунктах, включно з особливостями інформаційних систем і використанням сучасних технологій для покращення точності й ефективності інвентаризації.

У підрозділі 1.1 розглянуто зелені насадження як ключовий об'єкт кадастрової системи. До них належать парки, сквери, алеї й інші озеленені території, які відіграють важливу роль у забезпеченні екологічного балансу й підвищенні якості життя мешканців і мешканок. Встановлено, що для ефективного управління цими об'єктами необхідно мати детальні й актуальні дані про їхній стан, розташування та використання. Обґрунтовано створення кадастру для зелених насаджень із відповідним інформаційним наповненням, що

є ключовим етапом для впровадження ефективної стратегії управління й забезпечення збереження екологічно важливих територій у населених пунктах. Представлений перелік необхідної інформації допоможе організувати підготовчі роботи та впорядкувати дії під час польових і камеральних робіт.

Підрозділ 1.2 присвячений аналізу сучасних інформаційних систем, які використовуються в Європі й Україні. Наведені приклади функціонування таких систем. Вони забезпечують зберігання, опрацювання й аналіз даних про зелені насадження, що дозволяє ефективно планувати їхній розвиток та утримання. Виявлено, що наявні інформаційні системи мають певні недоліки, а саме: обмежена інтеграція з іншими кадастровими системами й недостатня точність даних. Однак упровадження таких сучасних технологій, як: геоінформаційні системи (ГІС) та дистанційне зондування — може значно покращити ситуацію.

У підрозділі 1.3 досліджено методи й засоби інвентаризації зелених насаджень для потреб кадастру. Зокрема, вивчено сучасні підходи з використання наземного лазерного сканування. Систематизовано переваги його застосування для кадастрових потреб і заповнення інформаційних систем даними. Це робить НЛС перспективним методом для широкого застосування в сфері кадастру зелених насаджень.

Розділ 1 підкреслює важливість сучасного підходу до кадастрової інвентаризації зелених насаджень у населених пунктах. Впровадження й вдосконалення інформаційних систем, а також використання новітніх технологій, таких як наземне лазерне сканування, дозволяють значно покращити точність та ефективність управління цими важливими екологічними об'єктами. Розуміння сучасного стану кадастрової інвентаризації зелених насаджень є ключовим для розроблення стратегій їхнього збереження й раціонального використання.

Розділ 2 «Розроблення методики інвентаризації зелених насаджень для потреб кадастру із застосуванням наземного лазерного сканування» представляє детальний підхід до створення цієї методики, акцентуючи на формуванні інформаційної бази даних, дослідженні методів інвентаризації й інтеграції отриманих даних у СЕО, що є складовою просторового планування територій.

У підрозділі 2.1 розглянуто процес створення інформаційної бази даних про зелені насадження. Важливим аспектом є збирання повної й точної інформації про розташування, види, стан і вік насаджень. Застосування наземного лазерного сканування дозволяє отримувати високоточні дані, що значно підвищує якість інвентаризації. Проаналізовано інформаційне забезпечення земельного, містобудівного, природно-заповідного кадастрів. Підкреслено важливість упровадження єдиного стандарту до формування бази даних про зелені насадження. Систематизований перелік необхідних даних про зелені насадження для формування інформаційної системи. Досліджено каталоги даних різних об'єктів зеленого господарства. Обґрунтовано ідентифікацію груп видів об'єктів рослинності. Проаналізовано ідентифікацію об'єктів через опис відповідних атрибутів і їхніх значень. Формування такої бази даних є основою для подальшого аналізу й ухвалення рішень щодо управління зеленими насадженнями.

Підрозділ 2.2 присвячений аналізу систематизації підходів до інвентаризації зелених насаджень у населених пунктах. Розроблено алгоритм систематизованого підходу до виконання інвентаризації рослинності в населених пунктах на основі проведеного дослідження. Це робить його перспективним методом для широкого застосування в сфері кадастру зелених насаджень.

У підрозділі 2.3 розглянуто інтеграцію даних, отриманих за допомогою наземного лазерного сканування, у стратегічну екологічну оцінку просторового планування території. Розроблено й обґрунтовано алгоритм інтеграції даних про зелені насадження. Включення високоточних даних про рослинність у процес просторового планування дозволяє враховувати екологічні аспекти під час розроблення місцевих і регіональних планів. Це сприяє більш збалансованому розвитку територій, збереженню біорізноманіття й підвищенню якості життя населення.

У другому розділі розкрито важливість розроблення та впровадження новітніх методик інвентаризації зелених насаджень із застосуванням наземного лазерного сканування. Формування інформаційної бази даних, дослідження

систематизації підходів до інвентаризації зелених насаджень та інтеграція отриманої інформації в стратегічне планування — усе це дозволить значно підвищити точність, ефективність та екологічну відповідальність під час управління зеленими насадженнями. Це сприяє створенню сталого міського середовища й збереженню природних ресурсів для майбутніх поколінь.

Розділ 3 «Особливості інвентаризації зелених насаджень автоматизованими методами наземного лазерного сканування» присвячений аналізу процесу використання наземного лазерного сканування для інвентаризації зелених насаджень, зокрема геодезичному забезпеченню цього процесу, практичному застосуванню технології на прикладі скверу Т. Масарика в м. Ужгород та створенню інформаційної бази даних території.

У підрозділі 3.1 розглянуто геодезичне забезпечення процесу сканування. Описано проведення геодезичних робіт, необхідних для точного сканування території, які складаються зі встановлення геодезичних опорних пунктів, визначення координат точок сканування й калібрування обладнання. Досліджено НЛС, їхню класифікацію, характеристики, методи вимірювання довжини й складові. Визначено класи похибок, які впливають на результати вимірювань. Обчислено похибки дослідження: максимальна похибка точок сканування становила 46,7 мм, а середня квадратична похибка — 24,6 мм за мінімального перекриття 3,9 %. Ця точність задовільна, з огляду на складність місцевості. Геодезичне забезпечення є ключовим етапом, що забезпечує високу точність і достовірність отриманих даних.

У підрозділі 3.2 досліджено практичне застосування наземного лазерного сканування для інвентаризації зелених насаджень у сквері Т. Масарика в м. Ужгород. Виконані роботи показали, що НЛС дозволяє отримати детальні тривимірні моделі дерев, кущів та інших елементів рослинності. Ця технологія забезпечує високу точність вимірювань і дає можливість проводити детальний аналіз стану насаджень та їхнього розташування на території, а також слугує інформативною базою для інших кадастрів природних ресурсів.

У підрозділі 3.3 розглянуто процес опрацювання отриманих даних і створення кадастрового плану території скверу Т. Масарика в м. Ужгород.

Зібрані за допомогою лазерного сканування дані були опрацьовані для створення точного й детального кадастрового плану, який відображає розташування всіх об'єктів зелених насаджень. Проведено камеральні роботи й побудовано перерізи, визначено діаметри стовбурів дерев, що знаходяться в сквері. Досліджено програмні продукти, які використовувались для заданого виду робіт. Проведено порівняння програмних продуктів TerraSolid та ArcGIS. А також порівняно розташування 30 дерев із визначеним діаметром і висотою автоматизованими методами з матеріалами класичної інвентаризації зелених насаджень і створено детальний план. Це дозволяє не лише мати актуальну картографічну інформацію, але й використовувати її для подальшого планування, управління й збереження зелених насаджень.

Складено інвентаризаційний план зелених насаджень парку ім. Т. Масарика та створено інформаційну базу даних, яка може бути інтегрована до містобудівного й інших видів кадастрів для ухвалення рішень щодо догляду, реконструкції й розвитку об'єктів зеленого господарства.

Розділ 3 підкреслює важливість використання автоматизованих методів наземного лазерного сканування для інвентаризації зелених насаджень. Геодезичне забезпечення процесу сканування й створення кадастрового плану є ключовими компонентами успішного впровадження цієї технології. На прикладі скверу Т. Масарика в м. Ужгород продемонстровано, що НЛС значно підвищує точність та ефективність інвентаризації зелених насаджень, що є необхідним для їхнього ефективного управління й збереження. Технологія наземного лазерного сканування дозволяє створювати детальні тривимірні моделі, які можуть бути використані для різноманітних цілей, включно зі стратегічним плануванням, екологічним моніторингом і розвитком територій шляхом наповнення баз даних.

Ключові слова: наземне лазерне сканування, зелені насадження, кадастр, інвентаризація, бази даних, просторове планування.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА, У ЯКИХ ОПУБЛІКОВАНІ ОСНОВНІ НАУКОВІ РЕЗУЛЬТАТИ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті в наукових періодичних фахових виданнях України за спеціальністю:

1. Ваш, Я. (2023). Особливості інвентаризації зелених насаджень автоматизованими методами наземного лазерного сканування. *Геодезія, картографія і аерофотознімання*, 98, 24–31. DOI: <https://doi.org/10.23939/istcgcap2023.98.024>.
2. Ваш, Я. (2025). Інтеграція даних про зелені насадження у стратегічну екологічну оцінку просторового планування території. *Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва: збірник наукових праць Західного геодезичного товариства УТГК*, 1 (49), 102–112. DOI: www.doi.org/10.33841/1819-1339-1-49-264-271.
3. Ваш, Я. (2025). Формування інформаційної бази кадастру для зелених насаджень: сучасні методи та стандарти. *Український журнал прикладної економіки та техніки*, 10.(1), 76-81. DOI: <https://doi.org/10.36887/2415-8453-2025-1-13>.
4. Калинич, І. В., Ничвид, М. Р., Каблак, Н. І., Проданець, І. І., & Ваш, Я. І. (2022). Моніторинг геодинамічних процесів в басейні річки Тиса за допомогою цифрового аерознімання із застосуванням БПЛА AUTEL EVO II PRO RTK. *Геодезія, картографія і аерофотознімання*, 95, 77–93. DOI: <https://doi.org/10.23939/istcgcap2022.95.077>.
5. Губар, Ю. П., Тревого, І. С., & Ваш, Я. (2022). Використання зонування території як частини генерального планування для визначення площ земель прибудинкових територій. *Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва: збірник наукових праць Західного геодезичного товариства УТГК*, 2 (44), 102–112. DOI: www.doi.org/10.33841/1819-1339-2-44-102-112.
6. Калинич, І. В., Четверіков, Б. В., Ваш, Я. І., & Губар, Ю. П. (2022). Інвентаризація об'єктів садово-паркового господарства скверу Т. Масарика м. Ужгород із викори-станням НЛС. *Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва: збірник наукових праць Західного геодезичного товариства*

- УТГК, 2 (44), 121–129. DOI: www.doi.org/10.33841/1819-1339-2-44-121-129.
7. Калинич, І. В., Губар, Ю. П., Четверіков, Б. В., & Ваш, Я. І. (2023). Порівняння 3D-моделей об'єктів, побудованих за матеріалами наземного лазерного сканування. *Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва: збірник наукових праць Західного геодезичного товариства УТГК*, 1 (45), 112–118. DOI: www.doi.org/10.33841/1819-1339-1-45-112-118.
 8. Губар, Ю., Хавар, Ю., & Ваш, Я. (2021). Шляхи розвитку національних кадастрових систем. *Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва*, 151-163. DOI: www.doi.org/10.33841/1819-1339-1-41-151-163.

Публікації, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації, а саме: матеріали й тези міжнародних і вітчизняних науково-технічних та наукових конференцій:

1. Ваш, Я., & Губар, Ю. (2022). Метод оптимізації вимірювань наземним лазерним сканером зелених насаджень парку ім. Т. Масарика м. Ужгород. *GeoTerrace-2022: міжнародна науково-технічна конференція молодих вчених*, м. Львів, 03-05 жовтня 2022 року. Львів. DOI:10.3997/2214-4609.2022590048.
2. Ваш, Я., & Губар, Ю. (2023). Формування 3D-моделей стовбурів дерев у сквері ім. Т. Масарика в Ужгороді, побудованих за матеріалами TLS, наземної фотограмметрії та їхнє поєднання. *GeoTerrace-2023: міжнародна науково-технічна конференція молодих вчених*, м. Львів, 02-04 жовтня 2023 р. DOI:10.3997/2214-4609.2023510039.
3. Губар, Ю. П., & Ваш, Я. І. (2021). Аналіз похибок коригування вартості об'єктів нерухомості. *Інтеграційні процеси у галузі землеустрою та геодезії: проблеми, досягнення, перспективи: всеукраїнська науково-практична конференція*, м. Львів, 16 грудня 2021 р., 61–65.
4. Губар, Ю. П., & Ваш, Я. І. (2020). Використання даних наземного лазерного сканування для ведення 3D-кадастру. *Нові технології в геодезії, землевпорядкуванні та природокористуванні: матеріали X міжнародної науково-практичної конференції*, м. Ужгород, 1-3 жовтня 2020 р. Ужгород, 46–

5. Ваш, Я. І., Губар, Ю. П., & Калинич, І. В. (2021). Інвентаризація об'єктів садово-паркового господарства на урбанізованих територіях. *Геофорум-2021: матеріали міжнародної науково-технічної конференції*, Львів, Брюховичі, Яворів, 9–11 червня 2021 р., 43–46.
6. Ваш, Я. І., & Губар, Ю. П. (2022). Методи оптимізації оглядового простору при виконанні наземного лазерного сканування. *Географічні аспекти просторової організації території, суспільства та збалансованого природокористування: матеріали II науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених*, м. Ужгород, 25-27 травня 2022 р., 204–209.
7. Калинич, І., Ваш, Я. І., & Луцьо, В. (2022). Огляд та порівняння методів 3D-моделювання з точки зору функціональності та точності. *Географічні аспекти просторової організації території, суспільства та збалансованого природокористування: матеріали III науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених*, Ужгород, 7-9 грудня 2022 р., 111–118.
8. Ваш, Я. І., & Губар, Ю. П. (2023). Методологія планування наземного лазерного сканування в урочищі Чорний мочарь смт Солотвино. *Географічні аспекти просторової організації території, суспільства та збалансованого природокористування: матеріали IV науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених*, м. Ужгород, 24-26 травня 2023 р., 214–218.
9. Ваш, Я. І., & Губар, Ю. П. (2022). Особливості визначення часток земельних ділянок прибудинкових територій. *Актуальні питання землекористування та туризму в контексті сталого розвитку: матеріали всеукраїнської студентської науково-практичної конференції*, 18 травня 2022 р., 123–126.
10. Губар, Ю. П., & Ваш, Я. І. (2021). Узгодження та аналіз похибок результатів коригування вартості об'єктів-аналогів. *Нові технології в геодезії, землевпорядкуванні та природокористуванні: матеріали X Міжнародної науково-практичної конференції*, 28-30 жовтня 2021 р., м. Ужгород, 120–125.
11. Ваш, Я. І., Каблак, Н. І., & Труш, Р. В. (2023). Використання наземного лазерного сканування для технічного нагляду об'єкта капітальної реконструкції. *Нові технології в геодезії, землевпорядкуванні та*

природокористуванні: матеріали XI міжнародної науково-практичної конференції, м. Ужгород, 26-28 жовтня 2023 р., 61–65.

12. Калинич, І., Каблак, Н., Проданець, І., Ваш, Я. І., & Ничвид, М. Р. (2023). До питання використання лідарного знімання для аналізу території. *Моніторинг довкілля, фотограмметрія, геоінформатика — сучасні технології та перспективи розвитку: тези доповідей X міжнародної науково-технічної конференції, Львів, 8–10 листопада 2023 р. Львів, 11.*
13. Ваш, Я. І. (2023). Алгоритм систематизованого підходу виконання інвентаризації об'єктів благоустрою. *Геофорум-2024: матеріали міжнародної науково-технічної конференції, м. Львів, Брюховичі, 10–12 квітня 2024 р., 163–166.*

ABSTRACT

Yaroslav Vash. Inventory of green plantings in populated areas using terrestrial laser scanning methods. — Qualifying scientific work on manuscript rights.

Dissertation for the Doctor of Philosophy degree in specialty 193 — Geodesy and Land Management. — Lviv Polytechnic National University, Ministry of Education and Science of Ukraine, Lviv, 2025.

The dissertation is devoted to the study of theoretical generalizations and practical recommendations for improving the technique of inventorying green spaces for the needs of the cadastre with the use of terrestrial laser scanning. The relevance of the inventory of green spaces is determined by a number of factors. First, the increase in anthropogenic pressure due to urbanization and industrial development leads to a decrease in the number of green areas, which negatively affects the ecology and quality of life. Secondly, the imperfection of the regulatory framework and the lack of uniform standards complicate the process of inventorying and managing green spaces.

The dissertation consists of an introduction, three sections, conclusions, a list of used sources and appendices.

In the first section, “The current state of the cadastral inventory of green spaces”, various legal and technical aspects of filling the cadastre (databases) of green spaces in settlements are defined, including the features of information systems and the use of modern technologies to improve the accuracy and efficiency of the inventory.

Subsection 1.1 considers green spaces as a key object of the cadastral system. Green areas include parks, squares, alleys and other green areas, which play an important role in ensuring ecological balance and improving the quality of life of residents. It has been established that for effective management of these objects, it is necessary to have detailed and up-to-date data on their condition, location and use. It is reasonable to create a cadastre for green spaces with appropriate information content, which is a key stage for implementing an effective management strategy and ensuring the preservation of ecologically important territories in settlements. The presented list of necessary information will help organize preparatory work and streamline actions

during field and chamber work.

Subsection 1.2 is devoted to the analysis of modern information systems, which are used to create information systems in Europe and Ukraine. Examples of the functioning of such systems are given. These systems provide storage, processing and analysis of data on green spaces, which allows for effective planning of their development and maintenance. It was found that existing information systems have certain shortcomings, such as limited integration with other cadastral systems and insufficient data accuracy. However, the introduction of modern technologies such as geographic information systems (GIS) and remote sensing can significantly improve the situation.

Subsection 1.3 examines methods and means of inventorying green spaces for the needs of the cadastre. In particular, modern approaches using terrestrial laser scanning are investigated. The advantages of using terrestrial laser scanning for cadastral needs and filling information systems with data are systematized. This makes it a promising method for widespread use in the field of green spaces cadastre.

Chapter 1 emphasizes the importance of a modern approach to the cadastral inventory of green spaces in settlements. The implementation and improvement of information systems, as well as the use of the latest technologies, such as terrestrial laser scanning, allow to significantly improve the accuracy and efficiency of management of these important environmental objects. Understanding the current state of the cadastral inventory of green spaces is key to developing strategies for their preservation and rational use.

Chapter 2 “Development of a methodology for the inventory of green spaces for the needs of the cadastre using terrestrial laser scanning” presents a detailed approach to the creation of an effective methodology for the inventory of green spaces, emphasizing the formation of an information database, the study of inventory methods and the integration of the received data into the spatial planning of the territory.

Subsection 2.1 discusses the process of creating an information database on green spaces. An important aspect is the collection of complete and accurate information about the location, species, condition and age of the plantations. The use of terrestrial laser scanning allows obtaining highly accurate data, which significantly increases the

quality of the inventory. The information provision of land, urban planning, nature reserve cadastres was analyzed. The importance of the introduction of a single standard to the formation of a database on green spaces is emphasized. A systematized list of necessary information about green spaces for the formation of an information system. Data catalogs of various objects of green economy were studied. The identification of groups of types of objects of green spaces is substantiated. The identification of objects through the description of the corresponding attributes and attribute values was analyzed. The formation of such a database is the basis for further analysis and decision-making regarding the management of green spaces.

Subsection 2.2 is devoted to the analysis of the systematization of approaches to the inventory of green spaces in settlements. An algorithm for a systematized approach to the implementation of the inventory of green spaces has been developed based on a study of the implementation of the inventory of green spaces in settlements. This makes it a promising method for wide application in the field of green space cadastre.

Subsection 2.3 examines the integration of data obtained by terrestrial laser scanning into the strategic environmental assessment of the spatial planning of the territory. An algorithm for integrating data on green spaces has been developed and substantiated. The inclusion of high-precision data on green spaces in the process of spatial planning allows taking into account environmental aspects in the development of urban and regional plans. This contributes to a more balanced development of territories, preservation of biodiversity and improvement of the quality of life of the population.

Chapter 2 demonstrates the importance of developing and implementing the latest green space inventory techniques using terrestrial laser scanning. The formation of an information database, the study of systematization of approaches to inventorying green spaces and the integration of the received data into strategic planning make it possible to significantly increase the accuracy, efficiency and environmental responsibility in the process of managing green spaces. This contributes to the creation of a sustainable urban environment and the preservation of natural resources for future generations.

Chapter 3 “Peculiarities of the inventory of green spaces by automated ground laser scanning methods” is devoted to the analysis of the process of using ground laser

scanning for the inventory of green spaces, in particular, the geodetic support of this process, the practical application of the technology on the example of T. Masaryk Square in the city of Uzhhorod, and the creation of a cadastral plan of the territory.

Subsection 3.1 discusses the geodetic support of the scanning process. The geodetic works necessary for accurate scanning of the territory are described. These works include establishing geodetic reference points, determining the coordinates of scan points and calibrating equipment. NLS, their classification, characteristics, length measurement methods, and components were studied. The classes of errors affecting the measurement results are determined. The study errors were calculated, namely the maximum error of the scanning points was 46.7 mm, and the average error was 24.6 mm with a minimum overlap of 3.9%. This accuracy is satisfactory considering the complexity of the terrain. Geodetic support is a key stage that ensures high accuracy and reliability of the received data.

Subsection 3.2 examines the practical application of ground laser scanning for the inventory of green spaces in T. Masaryk Park in Uzhgorod. The performed works showed that ground laser scanning allows obtaining detailed three-dimensional models of trees, bushes and other elements of green spaces. This technology ensures high accuracy of measurements and makes it possible to carry out a detailed analysis of the state of plantations and their location on the territory and also serves as an information base for other natural resource cadastres.

In subsection 3.3, the process of processing the received data and creating a cadastral plan of the territory of T. Masaryk Square is considered. The data collected by laser scanning were processed to create an accurate and detailed cadastral plan, which reflects the location of all objects of green spaces. Chamber work was carried out and cross-sections were constructed, and the diameters of tree trunks located in the park of T. Masaryk in the city of Uzhgorod were determined. The software products used for this type of work were studied. A comparison of TerraSolid and ArcGIS software products was made. The location of 30 trees, whose diameter and height were determined by automated methods, was compared with the materials of the classic inventory of green spaces, and a detailed plan was created. This allows not only to have up-to-date cartographic information, but also to use it for further planning,

management and preservation of green spaces.

An inventory plan of green spaces in the T. Masaryk Park has been drawn up and an information database has been created that can be integrated into urban planning and other types of cadastres for making decisions regarding the care, reconstruction and development of green spaces.

Chapter 3 highlights the importance of using automated terrestrial laser scanning techniques for green space inventory. Geodetic support of the scanning process and the creation of a cadastral plan are key components of the successful implementation of this technology. Using the example of T. Masaryk Park in Uzhhorod, it was demonstrated that ground laser scanning significantly increases the accuracy and efficiency of the inventory of green spaces, which is necessary for their effective management and preservation. Terrestrial laser scanning technology allows the creation of detailed three-dimensional models that can be used for a variety of purposes, including strategic planning, environmental monitoring and land development.

Key words: terrestrial laser scanning, green spaces, cadastre, inventory, databases, spatial planning.

THE RESEARCHER LIST OF PUBLICATIONS WHICH CONTAIN THE MAIN SCIENTIFIC RESULTS OF THIS DISSERTATION

Publications in scientific professional editions of Ukraine:

1. Vash, Ya. (2023). Features of inventory of green plantings by automated terrestrial laser scanning methods. *Geodesy, cartography and aerial photography*, 98, 24–31. DOI: <https://doi.org/10.23939/istcgcap2023.98.024>.
2. Vash, Ya. (2025). Integration of data on green spaces into the strategic environmental assessment of spatial planning of the territory. *Modern achievements of geodesic science and industry: collection of scientific works of the Western Geodetic Society of the Ukrainian Geodetic University*, 1(49). 102–112.
3. Vash, Ya. (2025). Formation of the information base of the cadastre for green spaces: modern methods and standards. *Ukrainian Journal of Applied*

Economics and Technology, 10(1), 76–81. DOI: <https://doi.org/10.36887/2415-8453-2025-1-13>.

4. Kalynych, I., Nychvyd, M., Prodanets, I., Kablak, N., & Vash, Ya. (2022). Monitoring of geodynamic processes in the Tysa river basin using AUTEL EVO II PRO RTK UAV. *Geodesy, cartography and aerial photography*, 95, 77–93. DOI: <https://doi.org/10.23939/istcgcap2022.95.077>.
5. Hubar, Yu. P., Trevogo, I. S., & Vash, Ya. I. (2022). Use of zoning of the territory as a part of general planning to determine the area of lands of household areas. *Modern achievements of geodesic science and industry*, 2 (44), 102–112. DOI: www.doi.org/10.33841/1819-1339-2-44-102-112.
6. Vash, Ya., Hubar, Yu., Kalynych, I., & Chetverikov, B. (2022). Inventory of objects of garden and park management of T. Masaryk Square, Uzhhorod using TLS. *Modern achievements of geodesic science and industry: collection of scientific papers of the Western Geodetic Society of UTGC*, 2 (44), 121–129. DOI: www.doi.org/10.33841/1819-1339-2-44-121-129.
7. Vash, Ya., Hubar, Yu., Chetverikov, B., & Kalynych, I. (2023). Comparison of 3D-models of objects built on the basis of ground laser scanning materials. *Modern achievements of geodesic science and industry*, 1 (45), 112–118. DOI: www.doi.org/10.33841/1819-1339-1-45-112-118.
8. Hubar, Yu. P., Khavar, Y. S., & Vash, Ya. I. (2021). Ways of development of national cadastral systems. *Modern achievements of geodesic science and industry: collection of scientific papers of the Western Geodetic Society of the Ukrainian Technical Geological Committee*, 1 (41), 151–163. DOI: www.doi.org/10.33841/1819-1339-1-41-151-163.

**Publications that testify to the approbation of the dissertation materials,
namely the materials and abstracts of international and national scientific and
technical conferences:**

1. Vash, Ya., & Hubar, Yu. (2022). The method of optimization of measurements by ground laser scanner of green spaces of the park named after T. Masaryk, Uzhhorod [Electronic resource]. *GeoTerrace-2022: international scientific and technical conference of young scientists*, Lviv, October 03-05. DOI:10.3997/2214-4609.2022590048.
2. Vash, Ya., & Hubar, Yu. (2023). Formation of 3D-models of tree trunks in the T. Masaryk Square in Uzhhorod built using the materials of TLS, terrestrial photogrammetry and their combination [Electronic resource]. *GeoTerrace-2023: international scientific and technical conference of young scientists*, Lviv, October 02-04, 2023. DOI:10.3997/2214-4609.2023510039.
3. Gubar, Yu. P., & Vash, Ya. I. (2021). Analysis of errors in real estate value adjustments. *Integration processes in the field of land management and geodesy: problems, achievements, prospects: all-ukrainian scientific and practical conference*, Lviv, December 16, 61–65.
4. Hubar, Yu. P., & Vash, Ya. I. (2020). Use of terrestrial laser scanning data for 3D-cadastral management. *New technologies in geodesy, land management and nature management: materials of the X international scientific and practical conference*, Uzhhorod, October 1-3, 46–49.
5. Vash, Ya.I, Hubar, Yu.P, & Kalynych, I. (2021). Inventory of landscape gardening facilities in urbanized areas. *Geoforum-2021: proceedings of the international scientific and technical conference*, Lviv, Bryukhovychi, Yavoriv, June 9-11, 2021. Lviv, Bryukhovychi, Yavoriv, 43–46.
6. Vash, Ya. I., & Hubar, Yu. P. (2022). Methods for optimizing the viewing space when performing ground laser scanning. *Geographical aspects of the spatial organization of territory, society and balanced nature management: materials of the II scientific and practical conference of students, postgraduates and young scientists*, Uzhhorod, May 25-27, 204–209.
7. Kalynych, I., Vash, Ya. I., & Lutso, V. (2022). Review and comparison of 3D-

- modeling methods in terms of functionality and accuracy. *Geographical aspects of spatial organization of territory, society and balanced nature management: materials of the III scientific and practical conference of students, postgraduates and young scientists*, Uzhhorod, December 7-9, 111–118.
8. Vash, Ya. I., & Hubar, Y. P. (2023). Methodology for planning ground-based laser scanning in the Chornuj Mochar tract of Solotvyno village. *Geographical aspects of spatial organization of territory, society and balanced nature management: materials of the IV scientific and practical conference of students, graduate students and young scientists*, Uzhhorod, May 24-26, 2023, 214–218.
 9. Vash, Ya. I., & Hubar, Yu. P. (2022). Peculiarities of determining the shares of land plots of residential areas. *Current issues of land use and tourism in the context of sustainable development: materials of the all-ukrainian student scientific and practical conference*, Dublyany, May 18, 123–126.
 10. Hubar, Y. P., & Vash, Ya. I. (2021). Coordination and analysis of errors in the results of adjusting the value of analogous objects. *New technologies in geodesy, land management and nature management: materials of the X international scientific and practical conference*, Uzhhorod, October 28-30, 120–125.
 11. Vash, Ya. I., Kablak, N. I., & Trush, R. V. (2023). The use of ground-based laser scanning for technical supervision of the capital reconstruction object. *New technologies in geodesy, land management and nature management: materials of the XI international scientific and practical conference*, October 26-28, 61–65.
 12. Kalynych, I., Kablak, N., Prodanets, I., Vash, Ya., & Nychvid M. (2023). To the issue of using lidar imaging for territory analysis. *Environmental monitoring, photogrammetry, geoinformatics — modern technologies and development prospects: abstracts of reports of the X international of scientific and technical conference*, Lviv, November 8-10, 11.
 13. Vash, Ya. I. (2024). Algorithm of a systematized approach to the inventory of improvement facilities. *Geoforum-2024: proceedings of the International Scientific and Technical Conference*, Lviv, Bryukhovychi, April 10-12, 2024. Lviv, Bryukhovychi, 163–166.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	20
ВСТУП.....	21
РОЗДІЛ 1. Особливості кадастрової інвентаризації зелених насаджень.....	29
1.1. Зелені насадження населених пунктів як об'єкт кадастру.....	29
1.2. Дослідження інформаційних систем зелених насаджень.....	40
1.3. Дослідження методів виконання інвентаризації зелених насаджень населених пунктів.....	52
Висновки до першого розділу.....	64
РОЗДІЛ 2. Розроблення методики інвентаризації зелених насаджень для потреб кадастру із застосуванням наземного лазерного сканування.....	66
2.1. Формування інформаційної бази даних про зелені насадження	66
2.2. Систематизація підходу до виконання інвентаризації зелених насаджень населених пунктів	80
2.3. Інтеграція даних лазерного сканування зелених насаджень у стратегічну екологічну оцінку просторового планування території.....	85
Висновок до другого розділу	98
РОЗДІЛ 3. Особливості інвентаризації зелених насаджень автоматизованими методами з використанням даних наземного лазерного сканування.....	100
3.1. Геодезичне забезпечення процесу сканування.....	100
3.2. Інвентаризація зелених насаджень скверу Т. Масарика в м. Ужгород з використанням даних наземного лазерного сканування.....	122
3.3. Створення бази даних для території скверу Т. Масарика	141
Висновок до третього розділу	151
Висновки	152
Список використаної літератури	154
ДОДАТОК А	172

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

У дисертаційній роботі використовуються наступні позначення й скорочення:

- ГІС — Геоінформаційна система;
- ДГМ — Державна геодезична мережа;
- ДДП — Документ державного планування;
- ЗН — Зелені насадження;
- ІЗН — Інвентаризація зелених насаджень;
- НЛС — Наземне лазерне сканування;
- ОБ — Об'єкти благоустрою;
- ПВО — Планово-висотний опознак;
- ПЗФ — Природно-заповідний фонд;
- СЕО — Стратегічна екологічна оцінка;
- ТГ — Територіальна громада;
- ЦМР — Цифрова модель рельєфу;
- HUGSI — Husqvarna Urban Green Space Index;
- LiDAR — Light Identification, Detection and Ranging;
- PLS — Plane To Line Switching;
- SLAM — simultaneous localization and mapping;
- SWOT — Strengths (Сили); Weaknesses (Слабкості); Opportunities (Можливості); Threats (Загрози);
- TLS — Terrestrial laser scanning.

ВСТУП

Обґрунтування вибору теми дослідження. Інвентаризація зелених насаджень — це ефективний спосіб вирішити важливу проблему збереження зелених зон, що особливо актуально в сучасній урбаністичній практиці. Оскільки міста стають дедалі густіше забудованими, необхідно використовувати сучасні технології, щоб інвентаризація могла надати точну інформацію про розташування й стан зелених насаджень. Така інформація є критичною для збереження екологічного балансу міста та планування його розвитку. Інвентаризація зелених насаджень є потужним інструментом, що допомагає вирішити одну з найважливіших проблем у будь-якому місті — збереження зелених зон, організацію територій із урахуванням екологічних аспектів та наповнення баз даних кадастрів природних ресурсів. Питаннями інвентаризації зелених насаджень займаються як закордонні, так і вітчизняні вчені: Ю. Мельник, О. Зібцева, Ю. Карпінський, М.Пілічева, К.Ялова, С. Роговський, О. Олешко, К. Жихарева, S. Tappert, L. Tîrlă, G. Manea, I. Vijulie, E. Matei, O. Cocoş, N. Kabisch, M. Kopecká, D. Szatmári, A. Tockner, C. Gollob.

Багато науковців і науковиць досліджували проблеми інвентаризації зелених насаджень, проте залишається низка невирішених питань. Одним із головних є відсутність єдиної та повної бази даних, яка б містила інформацію про всі зелені насадження в населених пунктах. Це ускладнює процес планування цих ресурсів та управління ними.

Іншою значною проблемою є недостатнє фінансування й обмеженість технічних засобів для проведення якісної інвентаризації. Такі сучасні методи, як-от: використання дронів та ГІС-технологій — можуть значно підвищити точність та ефективність інвентаризації, але їхнє впровадження потребує значних інвестицій.

Також існують проблеми правового характеру. Норми й стандарти, які регулюють інвентаризацію зелених насаджень, часто застарілі та не узгоджені між собою або не відповідають сучасним вимогам. Це створює правові колізії та ускладнює процес інвентаризації.

Крім того, бракує кваліфікованих фахівчинь і фахівців, які б могли проводити інвентаризацію з дотриманням усіх необхідних вимог і стандартів. Необхідно підвищувати рівень підготовки спеціалістів і спеціалісток у цій галузі, забезпечувати їх сучасними знаннями й навичками.

Нарешті, важливим аспектом є недостатня взаємодія між різними відомствами й організаціями, що займаються інвентаризацією та управлінням зеленими насадженнями. Відсутність координації призводить до дублювання зусиль і витрат, а також до неповноти й неточностей даних.

Ці проблеми потребують комплексного підходу й скоординованих зусиль науковців і науковиць, органів влади та практиків для їхнього вирішення. Тільки так можна забезпечити ефективне управління зеленими насадженнями та їхнє збереження для майбутніх поколінь.

Заповнення кадастрових баз даних вимагає постійної й актуальної інформації, тому дослідження інвентаризації зелених насаджень стає все більш важливим у контексті складної економіко-екологічної ситуації в містах і регіонах України, а також у багатьох частинах світу. Зі збільшенням антропогенного впливу на довкілля й зростанням населення міст тиск на зелені зони зростає, створюючи численні виклики для екологічної стабільності.

Актуальність інвентаризації зелених насаджень зумовлена низкою факторів. По-перше, зростання антропогенного тиску через урбанізацію й промисловий розвиток призводить до зменшення кількості зелених зон, що негативно впливає на екологію та якість життя. По-друге, недосконалість нормативно-законодавчої бази й відсутність єдиних стандартів ускладнюють процес інвентаризації та управління зеленими насадженнями.

Недостатній рівень озеленення, зумовлений нестачею систематизованої й достовірної інформації про наявні зелені насадження, є ще одним чинником, що підсилює важливість такого дослідження. Крім того, багато органів місцевого самоврядування стикаються з проблемами в управлінні зеленими зонами через відсутність надійних даних про їхній стан і розташування.

Ці фактори визначають актуальність дослідження, оскільки воно допоможе створити надійну інформаційну основу для управління зеленими насадженнями.

Це так само дозволить розробити стратегії й рекомендації для підтримки екологічної стійкості, оптимізувати просторове планування та забезпечити гармонійне поєднання міського розвитку з природними екосистемами. Тому дослідження інвентаризації зелених насаджень має життєво необхідне значення для сталого розвитку міст і регіонів.

Сучасні технології, як-от наземне лазерне сканування, дозволяють створювати детальні цифрові моделі зелених насаджень. Їх можна використовувати для відстеження змін, які можуть бути непомітними на паперових документах. Це відкриє нові можливості для аналізу й планування, дозволить міським службам ефективніше зберігати й розвивати зелені зони.

Питаннями інвентаризації зелених насаджень за допомогою НЛС займаються як закордонні, так і вітчизняні вчені: Li J., Yang B., Yang Y., Zhao X., Liao Y., Zhu N., Serrano F. L., Rubio E., Morote F. G., Ritter T., Schwarz M., Wilkes P., Disney M., Armston J., Liang X., Нуурпää J., Kaartinen H., Пілічева М.О., Губар Ю.П.. Праці науковців і науковиць, які зазначені вище, присвячені оцінці точності виконистання НЛС для облікування зелених насаджень а також програмному забезпеченню для опрацювання даних.

Ключовим кроком є створення інформаційної системи, яка включатиме інформацію про зелені насадження для просторового планування територій. Така система дозволить поєднати інформацію з різних джерел й інтегрувати її в спільне геоінформаційне середовище. Це полегшує обмін даними між різними відомствами й забезпечує громадськості доступ до інформації. Питанням створення інформаційних систем та наповнення баз даних займаються такі закордонні й вітчизняні вчені: Ю. Карпінський, Х. Бурштинська, М. Трегуб, К. Ялова, А. Овчаренко, Б. Четверіков, М. Пілічева, М. Маланчук, Н. Ступень, A. Nielsen, J. Ostberg.

Європа має різноманітні інформаційні системи для управління й моніторингу парків і скверів. Вони можуть бути національними чи муніципальними, тобто розробляються й підтримуються місцевими органами влади, приватними чи неприбутковими ініціативами. Ці структури спрямовані на збір і поширення інформації про зелені зони для громадськості.

Наприклад, у Великій Британії існують національні бази даних про парки й зелені насадження з інформацією про їхнє розташування, розмір, типи рослинності тощо. Такі системи дають змогу ефективніше керувати парками й скверами, допомагаючи в плануванні й моніторингові.

Однією з відомих інформаційних систем є HUGSI (Husqvarna Urban Green Space Index), яка використовує супутникові зображення та штучний інтелект для аналізу зелених міських територій та їхнього розвитку. Ідея «оцифровувати» міські дерева не нова: у Нью-Йорку, наприклад, є онлайн-мапа, яка містить дані про понад 850 000 дерев, що допомагає ефективніше керувати зеленими насадженнями.

Загалом такі інформаційні системи можуть значно варіюватися залежно від країни, регіону чи міста, але всі вони сприяють більш ефективному управлінню та збереженню зелених зон у міських умовах.

Інформаційна система також дає змогу здійснювати глибокий аналіз даних, автоматизувати процеси обробки інформації, а також забезпечувати актуалізацію відомостей про зелені насадження. Такий підхід допоможе містам не тільки зберігати зелені зони, але й планувати їхній подальший розвиток, що є важливим аспектом довгострокового екологічного планування й підвищення якості життя мешканок і мешканців міста.

Таким чином, вибір теми дослідження та її актуальність зумовлені необхідністю створення алгоритмів для проведення інвентаризації зелених насаджень, виявлення змін на земельних ділянках і взаємодія з геоінформаційними системами для оперативного оновлення даних у кадастрових базах щодо зон зелених насаджень із метою проведення просторового планування території.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота пов'язана з науковими планами роботи кафедри кадастру територій Інституту геодезії Національного університету «Львівська політехніка» за тематикою «Розробка теоретичних засад побудови кадастрових систем в Україні», за номером державної реєстрації 0108U008804, «Побудова сучасної науково-обґрунтованої системи кадастру в Україні».

Дисертаційна робота ґрунтується на законодавчій і нормативно-правовій базі, яка є джерелом здійснення інвентаризації об'єктів нерухомості в Україні: Конституції України; Земельному кодексі України; Законах України «Про землеустрій», «Про Державний земельний кадастр», «Про національну інфраструктуру геопросторових даних», «Про природно-заповідний фонд України»; Указ Президента України «Про цілі сталого розвитку України на період до 2030 року»; Інструкція з інвентаризації зелених насаджень у населених пунктах України; Інструкція з топографічної знімання в масштабах 1: 5000, 1: 2000, 1:1000 та 1: 500.

Мета й завдання дослідження. Мета дослідження — розроблення та удосконалення інвентаризації зелених насаджень за допомогою наземного лазерного сканування для наповнення інформаційних баз даних кадастрів.

Реалізація мети дисертаційної роботи передбачає вирішення таких завдань:

1. Дослідити та систематизувати методи наповнення інформаційних систем даними про зелені насадження;
2. Визначити основні вихідні дані, які необхідні на різних етапах формування/коригування бази даних та розробити структурну модель інформаційного забезпечення;
3. Визначити основні дані, які необхідні для СЕО та розробити структурну модель інтеграції даних;
4. Розробити та апробувати алгоритм виконання інвентаризації зелених насаджень;
5. Дослідити використання наземного лазерного сканування для отримання даних про зелені насадження.

Об'єкт дослідження — зелені насадження населених пунктів.

Предмет дослідження — методика інвентаризації зелених насаджень із використанням наземного лазерного сканування.

Методи дослідження. Дослідження ґрунтується на загальних принципах математичного моделювання, сучасних методичних підходах і методах наземного лазерного сканування, математичної статистики, економетрики, факторного аналізу, фундаментальних і прикладних наукових розроблень, які

мають концептуальне значення для вирішення поставлених завдань і забезпечують цілісно-системний розгляд проблеми інвентаризації зелених насаджень у населених пунктах України.

Основними методами дослідження в цій роботі є методи загальної теорії систем, теорії інформації, теорії оцінювання, теоретичні основи земельного та містобудівного кадастрів, землеустрою та інших суміжних дисциплін.

Інформаційною базою досліджень є наукова й методична література містобудівного, землепорядного, статистичного, економічного, екологічного характерів, нормативно-правові документи в сфері земельних відносин, науково-технічна документація в сфері геодезії, землеустрою, кадастру й державного управління земельними ресурсами.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у вирішенні завдань, пов'язаних із створенням та системним аналізом значного обсягу просторової інформації щодо зелених насаджень об'єктів благоустрою на території територіальних громад, отриманої шляхом застосування технологій наземного лазерного сканування та подальшої інтеграції цих даних до інформаційної системи кадастру. Ступінь наукової новизни дисертаційних досліджень визначають наступні основні результати:

1. Розроблено рекомендації щодо необхідного обсягу й структури інформації про зелені насадження з метою моделювання їхньої просторової організації.
2. Обґрунтовано доведено необхідність забезпечення детальною інформацією земельного, містобудівного та інших кадастрів із метою створення єдиних вимог до організаційної структури наповнення бази даних про зелені насадження.
3. Удосконалено алгоритм систематизованого підходу до інтеграції даних наземного лазерного сканування зелених насаджень у стратегічну екологічну оцінку з метою просторового планування території.
4. Розроблено алгоритм систематизованого підходу до виконання інвентаризації зелених насаджень
5. Вперше застосовано запропоновані методи й алгоритми наземного лазерного сканування для інвентаризації зелених насаджень у сквері ім. Масарика в

місті Ужгород.

Набули подальшого розвитку методи наземного лазерного сканування для потреб кадастру та землеустрою, що дає змогу здійснювати 3d виміри, які дозволяють підвищувати якісну складову обліку й ефективного планування озеленення в населених пунктах.

Практичне значення одержаних результатів. Виклики сучасності вимагають від дослідниць і дослідників не лише визначення й розроблення нових наукових підходів, але й, що найважливіше, їхньої практичної реалізації.

Наукові результати, отримані в дисертації, можуть бути використані для розв'язання практичних завдань, а саме:

- Органами державної влади та місцевого самоврядування для прийняття обґрунтованих рішень щодо управління територіями, планування розвитку об'єктів благоустрою, забезпечення екологічної безпеки та формування відкритих кадастрових баз даних зелених насаджень;

- суб'єктами господарювання – при розробленні містобудівної та проектної документації, обґрунтуванні рішень щодо реконструкції чи забудови територій з урахуванням існуючих зелених зон;

- землевласниками та землекористувачами для об'єктивного оцінювання потенціалу використання земельних ділянок, визначення екологічної цінності територій та прогнозування змін вартості земель у разі зміни їхнього екологічного стану;

- інвесторами для аналізу екологічної привабливості територій, оцінювання ризиків та доцільності інвестування у проекти розвитку територій

Отримані результати наукової роботи використовуються під час підготовки здобувачів спеціальності «Геодезія та землеустрій» у НУ «ЛП» (м. Львів) та у ДВНЗ «УжНУ» (м. Ужгород).

Дані дисертаційного дослідження мають важливу практичну цінність для органів місцевого самоврядування та громадських організацій. Дані досліджень апробовано в Управлінні містобудування та архітектури Ужгородської міської ради та громадській організації «Інститут раціонального природокористування», згідно актів впровадження (Додаток А).

Особистий внесок здобувача полягає у виконанні теоретичних та експериментальних досліджень, опрацюванні отриманих результатів, формулюванні основних положень і висновків. Дисертаційне дослідження є одноосібною науковою працею з питань удосконалення теоретичних, методичних і практичних аспектів інвентаризації рекреації автоматизованим методом наземного лазерного сканування. Наведені положення виконані здобувачем особисто. Із наукових праць, опублікованих у співавторстві, у дисертації використано лише власні розробки, а саме: 9 - 19, 34 - 36, 50 – 54.

Апробація результатів дисертації. Основні положення та результати наукових досліджень, що включені до дисертації, пройшли апробацію на міжнародних науково-технічних конференціях «GeoForum» (м. Львів — Яворів — Брюховичі, 2021-2025 рр.); GeoTerrace — міжнародна науково-технічна конференція молодих вчених (Львів, 2022-2023); Нові технології в геодезії, землевпорядкуванні та природокористуванні (Ужгород, 2020-2023); Географічні аспекти просторової організації території, суспільства та збалансованого природокористування (Ужгород, 2022-2023); Актуальні питання землекористування та туризму в контексті сталого розвитку (Львів, 2022); Моніторинг довкілля, фотограмметрія, геоінформатика — сучасні технології та перспективи розвитку (Львів, 2023), а також на колегіях та семінарах міжнародних програм HUSKROUA/1901/6.1/0044 «Карпатський зоряний шлях» та CLIMADAM «Стратегія адаптації до змін клімату та заходи щодо пом'якшення їхніх негативних наслідків для транскордонного регіону Словаччини та України».

Публікації. Основні положення дисертації опубліковано у 21 друкованій праці, із них 8 публікацій у наукових фахових виданнях України та 13 публікацій у матеріалах міжнародних науково-практичних конференцій.

Структура й обсяг дисертації. Дисертація складається із анотації, вступу, трьох розділів основної частини, висновків, списку літератури та додатків. Загальний обсяг дисертації складає 173 сторінки машинописного тексту, з них 135 сторінок основної частини, 16 сторінок анотації, 69 рисунків, 10 таблиць, 156 позицій списку літератури на 18 сторінках та додатку на 2 сторінках.

РОЗДІЛ 1

СУЧАСНИЙ СТАН КАДАСТРОВОЇ ІНВЕНТАРИЗАЦІЇ ЗЕЛЕНИХ НАСАДЖЕНЬ

1.1. Зелені насадження населених пунктів як об'єкт кадастру

Кожен елемент навколишнього середовища, який може бути ідентифікований, є об'єктом кадастру. Кадастр — систематизований банк кількісних і якісних даних щодо певного об'єкта [43, 79]. У сучасних умовах це можна трактувати як систематизовану геоінформаційну платформу, що містить дані про юридичний, природний, економічний і просторовий статус об'єктів, які підлягають реєстрації в системі керівництва відповідного рівня. Об'єкти кадастру — це різноманітні об'єкти, які підлягають реєстрації та включенню до кадастру [47,48,49,60]. Це можуть бути земельні ділянки, будівлі, споруди, об'єкти нерухомого майна, а також об'єкти природних ресурсів (наприклад, ліси, водні об'єкти тощо), які потребують правового регулювання й контролю щодо їхнього використання й володіння ними. У більш загальному сенсі об'єкти кадастру — це всі об'єкти, які можуть бути ідентифіковані, описані й зареєстровані в системі кадастрового обліку для подальшого використання в цілях забезпечення правових відносин щодо нерухомого майна й природних ресурсів.

Кадастри є одним із видів інформаційних систем, які використовуються в процесі здійснення державного управління [37, 49, 61, 63, 79]. Вони мають у своєму складі різноманітну інформацію про стан різних об'єктів, таких як: кадастри природних ресурсів (земельний, водний, лісовий, рослинний, тваринний та інші), містобудівний кадастр, кадастр нерухомості, екологічні кадастри (включно з кадастрами відходів, небезпечних відходів, лавин, антропогенних викидів та поглинання парникових газів тощо).

Законодавством України передбачено ведення таких державних кадастрів: земельного, водного, тваринного світу, лісового, родовищ і проявів корисних копалин, територій та об'єктів природно-заповідного фонду, сховищ

радіоактивних відходів, містобудівного, населених пунктів тощо. Ці кадастри призначені для забезпечення державних органів, підприємств, установ і організацій відповідною інформацією, необхідною для ухвалення управлінських рішень. Ведення кадастрів покладають на спеціально уповноважені органи виконавчої влади і здійснюють у порядку, встановленому Кабінетом Міністрів України [47, 79].

У темпах шаленої урбанізації важливості набуває ідентифікація зелених насаджень, що є об'єктом кадастру містобудівного, земельного, природно-заповідного, лісового, кадастру рослинного світу та інших. Дослідження будуть спрямовані на заповнення інформацією саме цих кадастрів.

Згідно з чинним законодавством, об'єктами державного лісового кадастру є всі ліси на території України незалежно від їхнього розташування на землях різних категорій за основним цільовим призначенням, а також незалежно від права власності на них. Це включає лісові ділянки, захисні насадження лінійного типу, площа яких не менше 0,1 гектара, та інші лісовкриті землі [21,37].

Відповідно до Закону України Про містобудівний кадастр [48] на районному рівні в систему містобудівного кадастру вводяться відомості інформаційних ресурсів галузевих кадастрів та інформаційних систем із питань використання територій, їхнього кадастрового, екологічного, інженерно-геологічного, сейсмічного, гідрогеологічного та іншого районування території району. На місцевому рівні в систему містобудівного кадастру вводяться відомості про затверджені містобудівні програми, схеми й проєкти розвитку інфраструктури, охорони пам'яток історії, культури й природи, озеленення, благоустрою й захисту території, інвестиційні програми та проєкти на підставі відповідних рішень органів місцевого самоврядування про їхнє затвердження (погодження). Отже, інформація про зелені насадження вноситься в геоінформаційну систему містобудівного кадастру.

У Наказі «Про затвердження форм адміністративної звітності з кількісного обліку земель (форми №№ 11-зем, 12-зем, 15-зем, 16-зем) та Інструкцій щодо їх заповнення» [73] було передбачено список обов'язкової інформації, яка вноситься до земельного кадастру щодо зелених насаджень. Зокрема, у графі 10

«Багаторічні насадження» вказувалися площі земель, на яких вирощуються штучно створені деревні, чагарникові або трав'янисті багаторічні насадження для вирощування плодово-ягідних, технічних, лікарських культур, а також для декоративного оформлення територій. Це також включає землі під деревно-чагарниковою рослинністю, які використовуються для вирощування квітів (таких як троянди, жасмин тощо), а також для розсадників (за винятком лісових). Площі, що призначені для доріг, споруд і захисних лісосмуг, виключаються зі складу багаторічних насаджень і враховуються у відповідних видах угідь.

Також було окремо виділено декілька граф для інформації про ліси, наприклад, у графі 19 «Земельні лісові ділянки, вкриті лісовою рослинністю» вказуються площі лісових земельних ділянок, що засаджені деревною та чагарниковою рослинністю, з густотою насаджень в молодому віці не менше 0,4 та в старшому віці не менше 0,3 (це означає, що крони дерев і чагарників покривають принаймні 40% (30%) площі ділянки рівномірно). Основна інформація, яку потребує державний земельний кадастр, — це площа земельної ділянки під зеленими насадженнями.

У вересні 2021 року Міндовкілля запустило відкритий електронний державний кадастр територій та об'єктів природно-заповідного фонду, який має на меті допомагати під час планування подорожей і відпочинку; оформлення земельних ділянок; планування бізнесу; здійснення громадського контролю; розробки документів просторового планування. Також у червні 2021 року було оприлюднено мінімальний набір інформації про більше ніж 7 тис. територій та об'єктів природно-заповідного фонду на Публічній кадастровій карті в окремому шарі «Природно-заповідний фонд». Разом з екологічними підрозділами облдержадміністрації Міндовкілля зібрало всю наявну первинну інформацію про ці території та оприлюднило їх, попередньо оцифрувавши.

Відповідно до Інструкції про зміст та складання документації державного кадастру територій та об'єктів природно-заповідного фонду [71] до даних, які вносяться до електронного документу первинного кадастрового обліку, належать біорізноманіття територій і об'єктів ПЗФ. Також відповідно до Інструкції наведено перелік видів дерев, які не можна вирубувати. Отже, у

кадастровій системі має бути відповідна інформація про стан, вид дерев та їхнє місце розташування.

Інформація про зелені насадження формується відповідно до призначення інформаційної кадастрової системи, оскільки вони можуть інвентаризуватися як поодинокі на вулицях населеного пункту, так і в комплексі (парках, скверах, заповідниках, лісових масивах тощо).

Згідно з даними О. П. Ігнатенка [65], українські міста й села мають загальну площу зелених насаджень у розмірі 652 тис. га, з яких площа насаджень загального користування становить 182 тис. га. За його розрахунками, на кожного жителя й жительку припадає 145 м² зелених насаджень, включно з 4 м² насаджень загального користування.

З початку 2000-их років у багатьох містах і населених пунктах України розпочалося масове знищення зелених насаджень. Це призвело до значного скорочення площі зелених зон у деяких містах. Наприклад, якщо в Києві в 1968 році припадало 24 м² зелених насаджень на одну людину, то тепер ця цифра зменшилася до 16–18 м² [2, 9, 44, 45, 58, 86]. З 2000 по 2010 роки в Києві було знищено близько 500 га зелених насаджень. Зазвичай дерева вирубують для будівництва нових будинків, розважальних центрів, магазинів, часто порушуючи законодавство. Громадськість активно виступає проти знищення зелених насаджень, але без поліпшення законодавчої бази їй не вдається зупинити цю тенденцію [5, 44, 45].

Країни світу мають власні стандарти щодо озеленення території населених пунктів, а також системи обліку й спостереження. Згідно з даними урядового агентства Великобританії English Nature, рекомендована мінімальна норма зелених насаджень на 1 тис. людей становить не менше 2 га доступної природної території, що відповідає приблизно 20 м² на одну людину [142].

У Франції, зокрема в Парижі, площа зелених насаджень коливається від 3 до 14 м² на одну людину залежно від району міста. Зелені зони, такі як: парки, сквери й сади — займають лише 9,5% території міста, що є найнижчим показником серед європейських міст. Наприклад, у Лондоні зелені зони становлять 33% міської площі, у Мадриді — 35%. У Бірмінгемі рівень

озеленення становить 11%, у Берліні — 30%, у Стокгольмі — 39%, а в Шеффільді — 45% [142, 146]. Щодо доступності озелених територій загального користування, то вона варіюється від 6 до 26 м² на одну людину залежно від району міста у Варшаві, 8 м² у Будапешті, 18 м² в Празі, 12 м² в Чикаго, менше 16 м² в Берліні, і 17 м² у Відні. Результати дослідження, яке проведено для 386 міст Європи з використанням єдиної методології дистанційного зондування Землі, показують, що забезпеченість населення озеленими територіями коливається від 3-4 м² у Бетіс і Альмерії до 300 м² в Льєжі, Оулу й Валансьєнн [82, 142, 146].

Також слід зазначити, що в більшості країн зараз загальноприйнятим є поняття «міський зелений простір», а в останні десятиріччя використовується термін «зелена інфраструктура». Відсутність чіткого визначення терміну «міський зелений простір» під час планування міст сприяє збільшенню площі забудови за його рахунок, що робить це питання дуже актуальним.

Одним із ключових елементів сталого територіального планування є вироблення єдиної системи національних стандартів, нормативів і правил, які стосуються землекористування [41], а також захисту зелених насаджень [115, 116].

У міжнародній практиці найбільш поширеним методом оцінки рівня озеленення міських територій є визначення площі зелених зон на кожного мешканця та мешканку [102]. Зелені насадження в містах вважаються важливим фактором для покращення якості життя й створення стійкої основи для розвитку населених пунктів. Пошук універсальних методик щодо розрахунку цих показників ускладнені, оскільки інформація про зелені насадження є неоднозначною [98], а звітність щодо зелених зон у населених пунктах має свої методологічні й перспективні недоліки [6, 102, 112]. Натомість для проведення міжміських порівнянь систем озеленення необхідно мати достовірну й розширену інформацію про зелені насадження.

Натомість міжміські порівняння систем озеленення вимагають об'єктивної інформації [118]. У дослідженні М Кореска́ представлені результати використання даних Sentinel-2 для обліку зелених зон у містах. Висновок авторів,

Овчаренко А. Ю. Залюбовська О. В., праці [77] полягає в тому, що звичайні методи досліджень ландшафтів демонструють значну складність і вимагають великих часових витрат, а їхні засоби є застарілими, вони пропонують використовувати космічні знімки з відкритих баз даних, таких як: Landsat 8, Sentinel-2. Особливості міського ландшафту потребують подальшого розгляду можливостей і обмежень використання супутникових даних і відповідних методів аналізу.

Стаття Х. Бурштинської та інших [80] присвячена вивченню проблеми деградації хвойних насаджень і пошуку ефективних засобів її виявлення й контролю. У центрі дослідження використання супутникових знімків різного часу (2007, 2017 і 2018 років) у поєднанні з геоінформаційними технологіями й польовими дослідженнями для аналізу динаміки стану хвойних лісів Тухлянського лісництва Львівської області. Дослідники та дослідниці застосували метод контрольованої класифікації з використанням навчальних вибірок, створених на основі даних, зібраних під час експедицій. Це дозволило з високою достовірністю виявити ділянки засихання дерев, оцінити їхню площу, виявити нові осередки й простежити зміни, що відбулися протягом десятиліть. Важливо, що в дослідженні застосовано метод максимальної вірогідності для класифікації супутникових зображень, що забезпечило точність і надійність результатів. Цінність цієї роботи для інвентаризації лісів полягає в тому, що вона демонструє дієвий підхід до моніторингу стану лісових насаджень на основі дистанційного зондування Землі, що можна використати для зелених насаджень у межах населених пунктів. Застосована методика дозволяє отримувати об'єктивну й своєчасну інформацію про зміни в структурі лісів, виявляти проблемні ділянки та оцінювати їхню динаміку.

Згідно робіт Х.В. Бурштинської та інших [8,104] знімання земної поверхні з високою трав'янистою та кущовою рослинністю необхідно виконувати ранньою весною або восени за безлистого покриву і відсутності трав'яної рослинності. Водночас згідно Інструкції [38] інвентаризація ЗН проводиться з квітня по жовтень.

У статті [101] досліджується ефективність класифікації лісів на основі

високоякісних супутникових знімків, зокрема зображення QuickBird-2, отриманого в червні 2010 року для території Передкарпаття. У дослідженні було застосовано контрольовану класифікацію методом максимальної правдоподібності з наступною постобробкою. Під час аналізу було виявлено істотну спектральну схожість між певними класами, зокрема між молодими хвойними насадженнями й змішаними або сосновими лісами, а також між листяними молодими й зрілими насадженнями. Метод більшості пікселів у локальному оточенні дозволив скоригувати результати класифікації та зменшити кількість помилок. Залежно від розміру області й застосування фільтра, точність визначення площ досягала 92–99%.

Цінність статті [101] полягає в тому, що вона підтверджує ефективність використання супутникових знімків високої роздільної здатності для інвентаризації лісів. Незважаючи на обмеження в спектральному розрізненні близьких за характеристиками класів, завдяки поєднанню точного алгоритму класифікації та подальшої постобробки вдається досягти високої достовірності результатів. Такий підхід є надзвичайно корисним для створення актуальних карт лісового покриття й ведення просторової інвентаризації лісових ресурсів.

У публікаціях [7, 81, 103] автори досліджують ефективність використання супутникових знімків високої й середньої розрізненості (GeoEye-1 та Sentinel-2), а також даних із безпілотних літальних апаратів (БПЛА) для виявлення й класифікації пошкоджених, сухих і здорових зелених насаджень. Особливу увагу приділено аналізу спектральних характеристик різних типів хвойної рослинності. Для цього було проведено спектрофотометричні вимірювання, які дозволили визначити оптимальні діапазони спектра для виявлення пошкоджених дерев. На основі цих результатів автори обрали відповідні вегетаційні індекси (зокрема NDVI, EVI, WDRVI, PSRI, NDWI та DMCI), які були використані для створення індексних зображень і синтезованих композицій, що значно покращили інтерпретацію стану насаджень.

Важливість роботи полягає в розробленні ефективної методики інвентаризації зелених насаджень із використанням супутникових знімків і даних БПЛА. Запропонований підхід дозволяє не лише фіксувати факт наявності

сухої чи пошкодженої рослинності, а й оперативно реагувати на зміни в структурі зелених насаджень. Це особливо важливо для своєчасного виявлення осередків ураження, недопущення поширення шкідників і раціонального використання деревини. Методика є універсальною й придатною для застосування в системах ведення лісового й зеленого кадастру, а також для моніторингу стану міських і природних зелених зон.

У статті М.О. Пілічевої [133] розглянуто технологічний процес інвентаризації зелених насаджень із застосуванням безпілотних літальних апаратів (БПЛА) та супутникових навігаційних систем. Детально описано етапи збору інформації, підготовчих та камеральних робіт, що включають створення ортофотопланів і топографічних планів масштабу 1:500 для об'єктів благоустрою. Практична цінність роботи полягає у впровадженні сучасних технологій для забезпечення високої точності інвентаризації зелених насаджень, що є важливим для подальшого створення кадастрів зелених зон та геоінформаційних порталів.

Дане дослідження є цінним джерелом для обґрунтування доцільності використання сучасних методів збирання просторових даних у процесі інвентаризації зелених насаджень. Вона демонструє, як застосування аерофотозйомки з БПЛА доповнює класичні геодезичні методи, що є важливим для формування високоточної бази даних кадастрів зелених насаджень в умовах населених пунктів.

Зелений простір впливає на зовнішній вигляд міста, визначає й поліпшує кліматичні, санітарно-гігієнічні умови проживання в ньому, тобто в містобудуванні зелені насадження виконують різну роль [26, 58, 72]. Основні функції представлені на рис. 1.1.

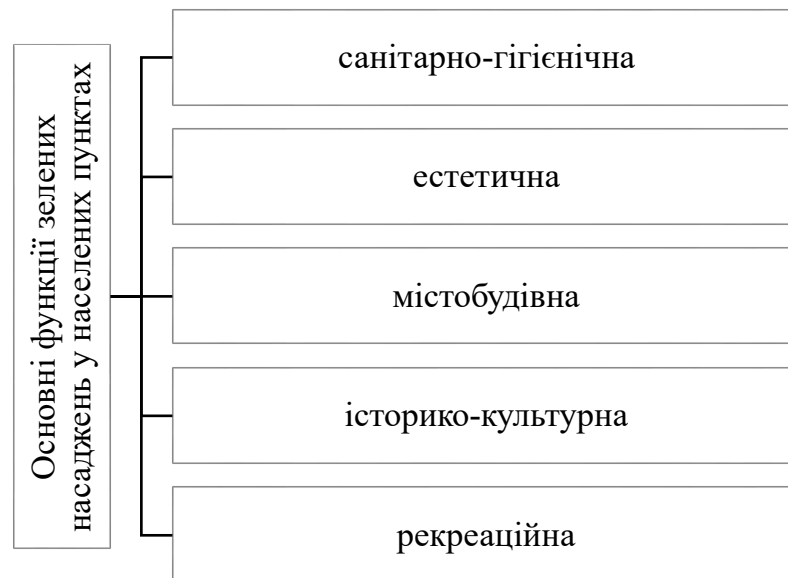


Рис. 1.1. Основні функції зелених насаджень під час планування територій.

Джерело: узагальнено автором на основі 26, 58, 72

На рис. 1.1 зазначені п'ять основних функцій, які виконують зелені насадження під час формування території населеного пункту, а також відіграють важливу роль під час розроблення сталих концепцій розвитку населеного пункту. Санітарно-гігієнічна функція сприяє відновленню й збереженню навколишнього середовища, естетична робить територію привабливою, містобудівна утворює обмеження щодо забудови території, історико-культурна дає підґрунтя для створення особливих зон, рекреаційна — можливість для відпочинку населення.

Зелені насадження мають вплив на функціонування міста з різних точок зору включно з екологічним, соціальним і економічним аспектами [32, 67, 78, 83, 87,91].

1. Екологічний вплив , представлений як:

- *зменшення забруднення повітря*, тому що рослинність поглинає деякі шкідливі речовини й виділяє кисень, сприяючи чистоті повітря в місті;
- *зменшення ефекту острова спеки*, тому що зелені насадження допомагають зменшити температуру в місті та уникнути перегрівання повітря, що є важливим для боротьби з ефектом острова спеки.

2. Соціальний вплив — це:

- *покращення якості життя*, оскільки зелені зони створюють приємне й

здорове середовище для проживання, сприяючи фізичному й психічному здоров'ю мешканок і мешканців;

- *зони відпочинку та рекреації*, оскільки парки, сквери й інші зелені зони стають місця для відпочинку, фізичної активності й соціальних взаємодій.

3. Економічний вплив проявляється через:

- *підвищення вартості нерухомості*, адже наявність зелених зон поблизу житлових районів може позитивно вплинути на вартість нерухомості;
- *туризм та господарство*, адже добре доглянуті парки привертають увагу туристок і туристів та можуть сприяти розвитку господарства міста.

4. Зменшення шуму й стресу — це:

- *абсорбція шуму*, тому що зелені насадження можуть допомогти зменшити шум від дорожнього руху та інших джерел;
- *психологічний комфорт*, оскільки зелені зони створюють сприятливий психологічний клімат, допомагаючи людям зменшити стрес і покращити емоційний стан.

5. Біорізноманіття та екосистемні послуги — це:

- *збереження різноманітності*, адже зелені насадження слугують житлом для різноманітних рослин і тварин, сприяючи збереженню біорізноманіття;
- *екосистемні послуги*, тому що зелені зони надають різні корисні послуги, такі як: поліпшення ґрунтів, водопостачання.

Зелені насадження грають ключову роль у створенні екологічно збалансованих, соціально комфортних та економічно стійких середовищ. Вони є важливою складовою сталого розвитку міст і сприяють покращенню якості життя мешканців і мешканок. Враховуючи динаміку росту міста й зростання населення, ми розуміємо, що важливість зелених насаджень стає ще більш актуальною [2,6, 23,29].

Ідея інвентаризації системи зелених насаджень викликана визначенням елементів системи зелених просторів з метою поєднати їх пішохідними зв'язками й створити базу даних ЗН для їхнього збереження. Елементами системи зелених насаджень можуть бути сад житлового двору, сад мікрорайону, районний парк, міський парк, міський сад, сквер, лісопарк, гідропарк тощо. Озелененими

пішохідними зв'язками виступають бульвари, набережні, траси прогулянкових маршрутів, водно-зелений діаметр та ін [25].

Оскільки наповнення баз даних кадастрів не можливе без актуальної інформації, то дослідження інвентаризації зелених насаджень набуває актуальності через проблемну економіко-екологічну ситуацію в містах і регіонах України та у світі, через зростання антропогенного тиску, недосконалість нормативно-законодавчої бази, недостатній рівень озеленення, відсутність систематизованої й достовірної інформації — усе це й визначило актуальність теми дисертації.

Правове регулювання інвентаризації зелених зон для територіального планування в Україні ґрунтується на більш ніж ста законодавчих актах, включно із Законами України «Про основи містобудування», «Про державні будівельні норми», «Про природно-заповідний фонд», Наказом «Про затвердження Інструкції з інвентаризації зелених насаджень у населених пунктах України» та інші, а також має корелюватися із Класифікатором інформації, яка відображається на топографічних планах масштабів 1:5 000, 1:2 000, 1:1 000, 1:500 [28].

Першим важливим етапом у плануванні зеленого простору є класифікація озелених територій, що дозволяє систематизувати наявні знання, отримати інформацію, виявити невідомі факти й об'єднати старі та нові знання в єдину систему [11,111,133]. У світі наразі не існує єдиного методу класифікації системи зеленого простору [132]. Вирішення питання віднесення озелених територій до певних категорій земель можливе лише шляхом чіткої уніфікації термінології та вимог до отримання інформації. Поштовхом до такої класифікації є дані кадастру, які забезпечуються проведеною інвентаризацією. Систематизацію об'єктів кадастру під час інвентаризації зелених насаджень наведено на рис. 1.2.

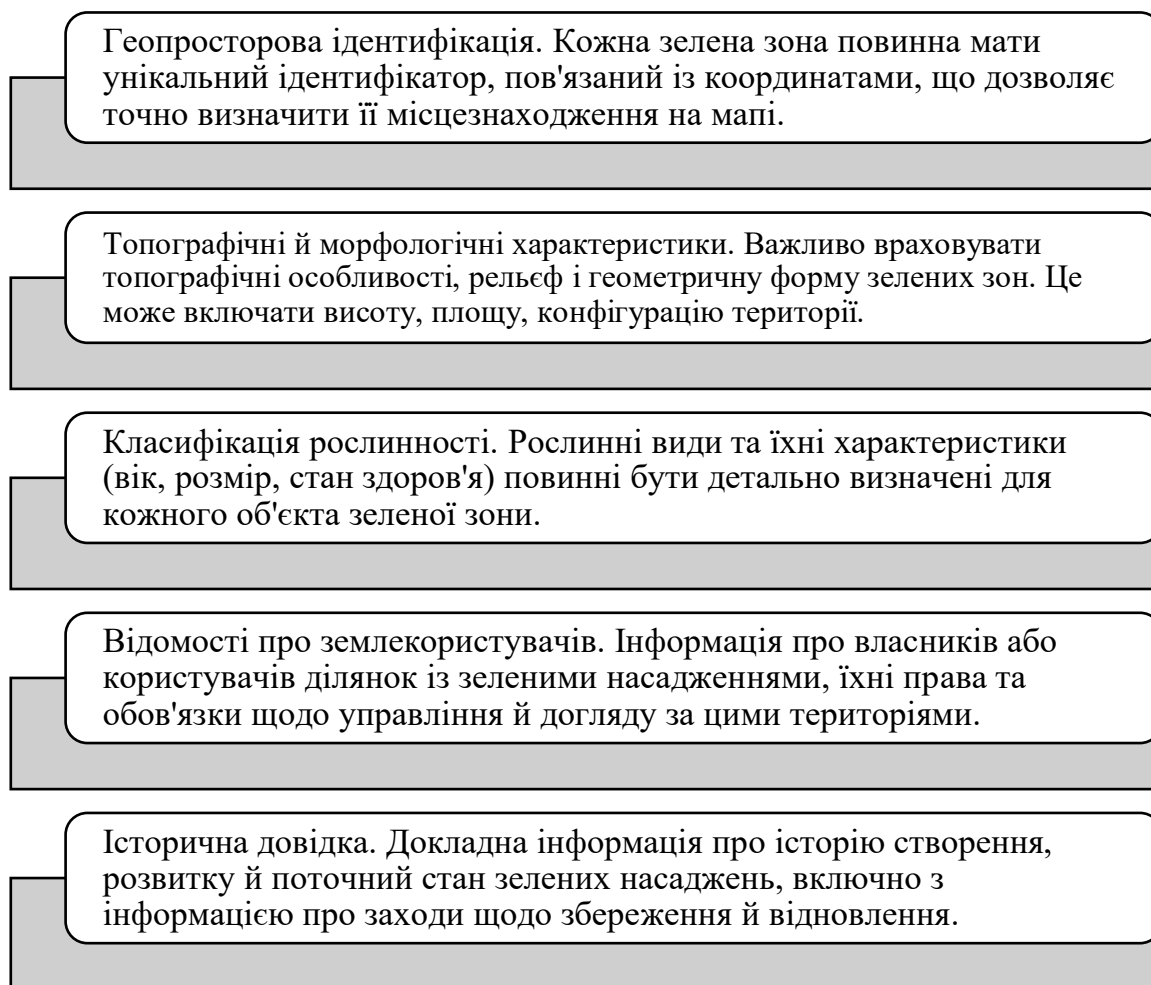


Рис. 1.2. Перелік необхідної інформації як об'єкта інвентаризації
Джерело: узагальнено автором на основі 11,28,38,63,66,71,73,93,133,

Створення бази даних про зелені насадження із відповідним інформаційним наповненням є ключовим етапом для впровадження ефективної стратегії управління й забезпечення збереження екологічно важливих територій у населених пунктах. Представлений перелік необхідної інформації допоможе організувати підготовчі роботи та впорядкувати дії під час польових і камеральних робіт.

1.2. Дослідження інформаційних систем зелених насаджень

У Європі існують різні інформаційні системи, спрямовані на управління й моніторинг парків і скверів. Деякі з них можуть бути національними або муніципальними, тобто розробляються й підтримуються місцевою владою або

органами управління парків. Інші можуть бути приватними або неприбутковими ініціативами, що спрямовані на збір і розповсюдження інформації про парки й сквери для громадськості.

Наприклад, деякі країни, як-от Велика Британія, можуть мати національні бази даних про парки й зелені насадження, які включають інформацію про їхнє розміщення, розмір, види рослинності й інші важливі деталі. У деяких містах Європи також існують місцеві системи управління парками й скверами, які дозволяють органам місцевого самоврядування вести облік і планувати доглядові роботи за зеленими зонами.

Деякі організації й ініціативи також розробляють вебсайти або мобільні додатки, що надають інформацію про парки й сквери для громадськості. Це можуть бути інтерактивні карти, фотографії, розклади роботи, інформація про події й активності, які відбуваються в цих зелених зонах.

Загалом системи управління й моніторингу парків і скверів у Європі можуть бути різноманітними й варіюватися залежно від країни, регіону чи міста. Одна із інформаційних систем — це HUGSI (Husqvarna Urban Green Space Index) [145]. Це супутникове рішення на основі штучного інтелекту було розроблено для аналізу озеленення міських територій і відстеження їхнього розвитку.

«Наша мета — надати містам комплексний інструмент для вимірювання й покращення їхніх зелених насаджень, і таким чином гарантувати, що території міста можуть процвітати в гармонії з природою», — говорить Ерік Свон — керівник проєкту HUSGI [145].

Урбанізація відбувається безпрецедентними темпами. Міста все більше орієнтуються на сталий розвиток. Доведено, що екологічна й рекреаційна цінність, розвиток та управління міськими зеленими насадженнями стають центром уваги для міст по всьому світу. Для цього потрібні політичні вказівки, участь громадян і міжсекторальна співпраця, щоб перетворити бачення міських зелених насаджень у реальність. Ось чому створено HUGSI, щоб підвищити обізнаність про значення міських зелених насаджень серед громадян, підтримати місто, чиновників і політиків в ухваленні обґрунтованих рішень і сприяти співпраці між галузями й організаціями, щоб разом зробити «розумне й стійке

місто», щоб воно стало реальністю [114].

Застосовуючи комп'ютерне бачення й методи глибокого навчання на супутникових зображеннях, HUGSI розкриває уявлення про поточний стан та історичний розвиток рослинності й навколишнього середовища в районах міста. Це дає змогу з'ясувати наступне: наскільки міста насправді зелені та чи зменшується ущільнення кількості міських зелених насаджень [114]. Проєкт провів моніторинг 98 міст по всьому світу. За основу взяли міста, які є членами C40, мережі світових мегаполісів, які зобов'язуються боротися зі зміною клімату, що представляють понад 700 мільйонів громадян і чверть світової економіки. На рис. 1.3 представлено знімок інтерфейсу інформаційної системи.

Завдяки HUGSI.green міста можуть:

- миттєво отримати базову лінію міської зелені, щоб встановити відповідну амбіцію щодо озеленення;
- відстежувати результати планів озеленення населеного пункту;
- оцінювати покрив дерев і знаходити місця для посадок;
- знаходити ділянки з низькою життєвою силою рослинності;
- виявляти загальноміські зміни, що впливають на рослинність.

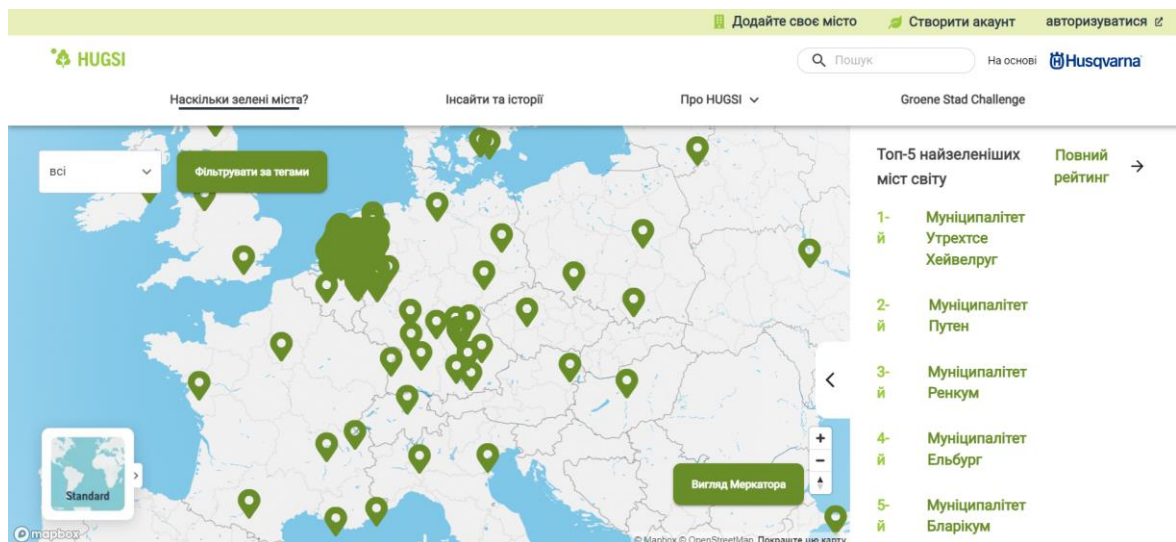


Рис. 1.3. Скриншот екрану інтерфейсу інформаційної програми HUGSI.green

У наведеній інформаційній системі можна отримати інформацію про:

- загальний опис об'єкта зелених насаджень (рис. 1.4);

- дані міської зеленої зони (рис. 1.5);
- статистику в розрізі років (рис.1.6);
- моніторинг змін територіального планування (рис. 1.7);
- вид крони дерев (рис. 1.8);
- вид та оцінка біорізноманіття (рис. 1.9, рис. 1.10);
- статистичні показники зелених насаджень (рис. 1.11).

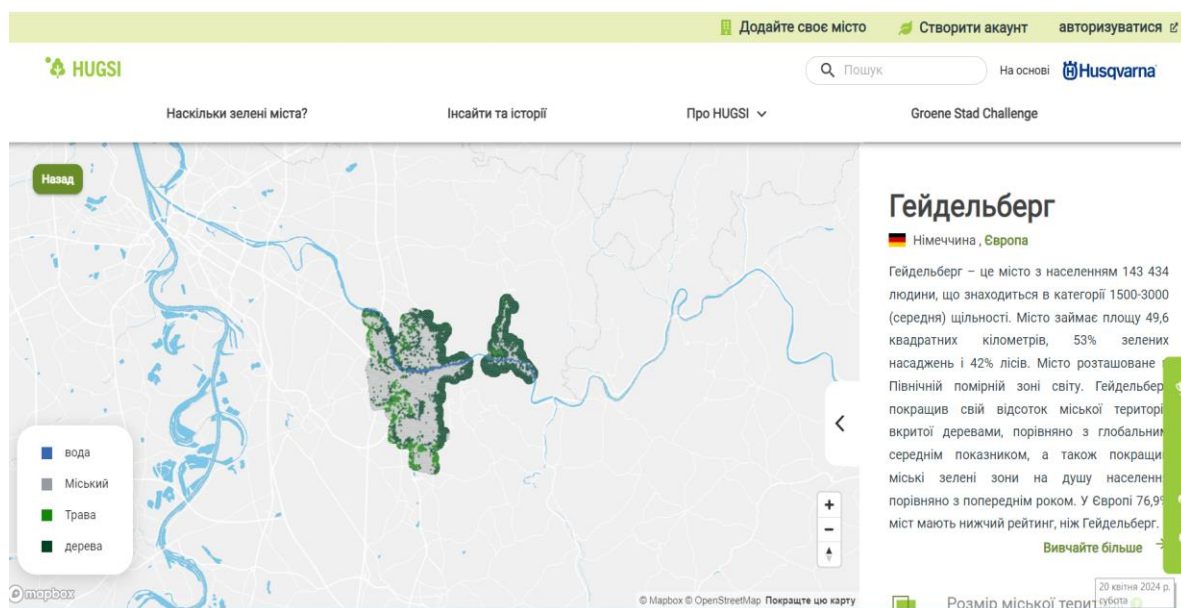


Рис. 1.4. Скриншот екрану інтерфейсу інформаційної програми HUGSI.green (загальні дані)

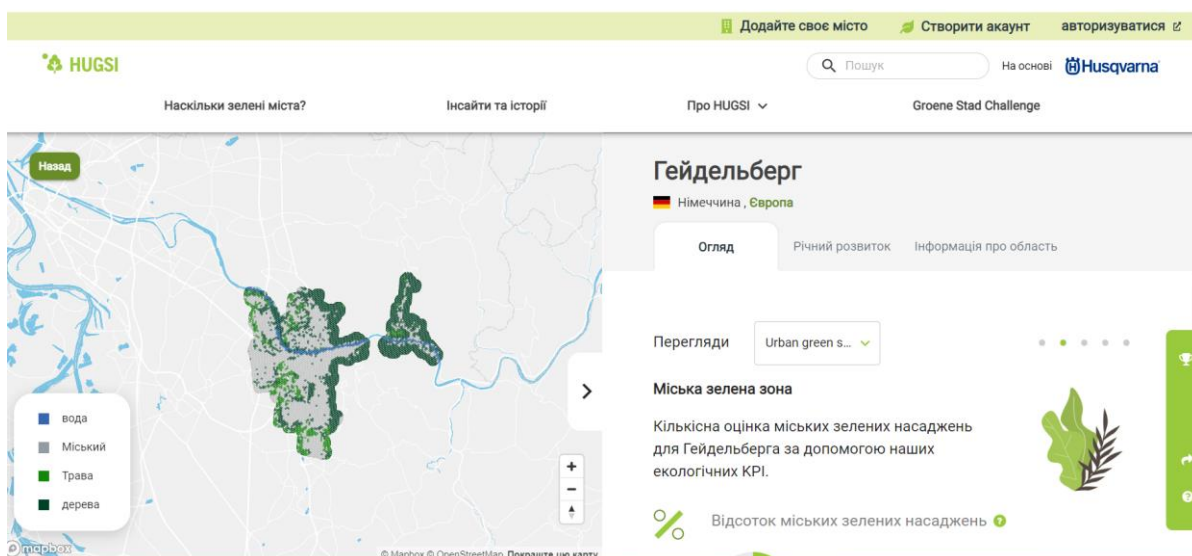


Рис. 1.5. Скриншот екрану інтерфейсу інформаційної програми HUGSI.green (інформація про міські зелені насадження)

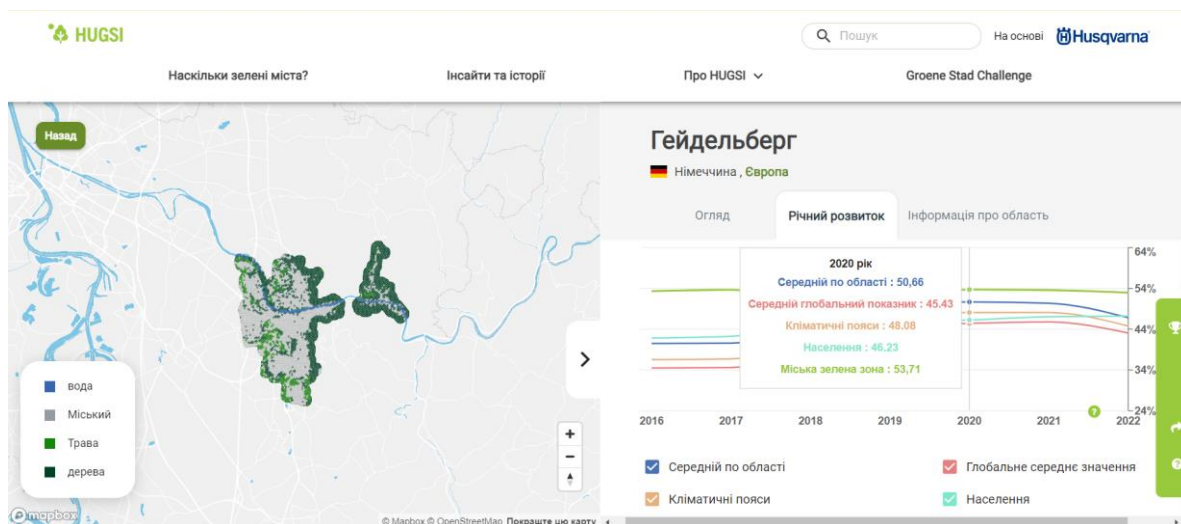


Рис. 1.6. Скриншот екрану інтерфейсу інформаційної програми HUGSI.green (статистичні дані по роках)

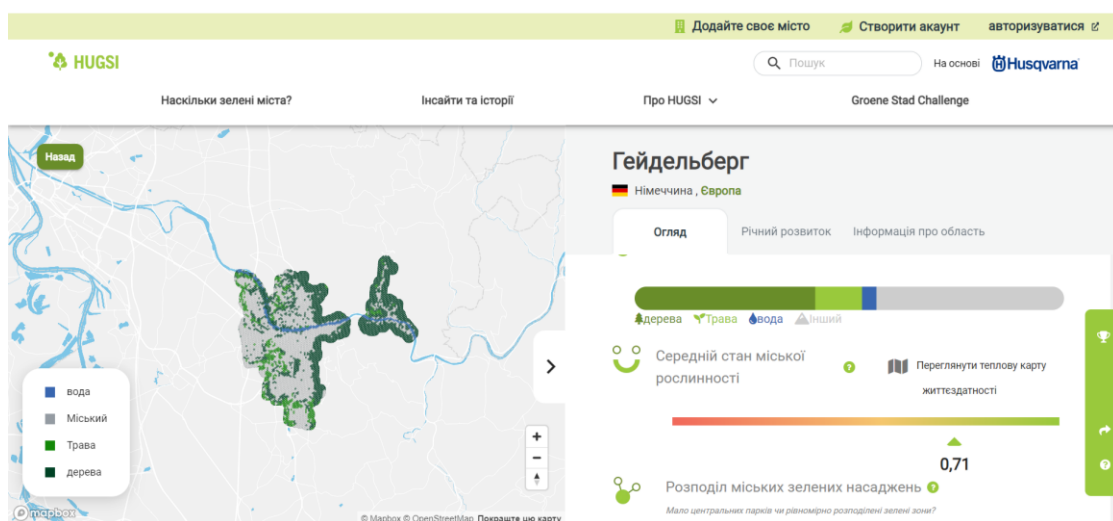


Рис. 1.7. Скриншот екрану інтерфейсу інформаційної програми HUGSI.green (моніторинг змін територіального планування) HUGSI.green

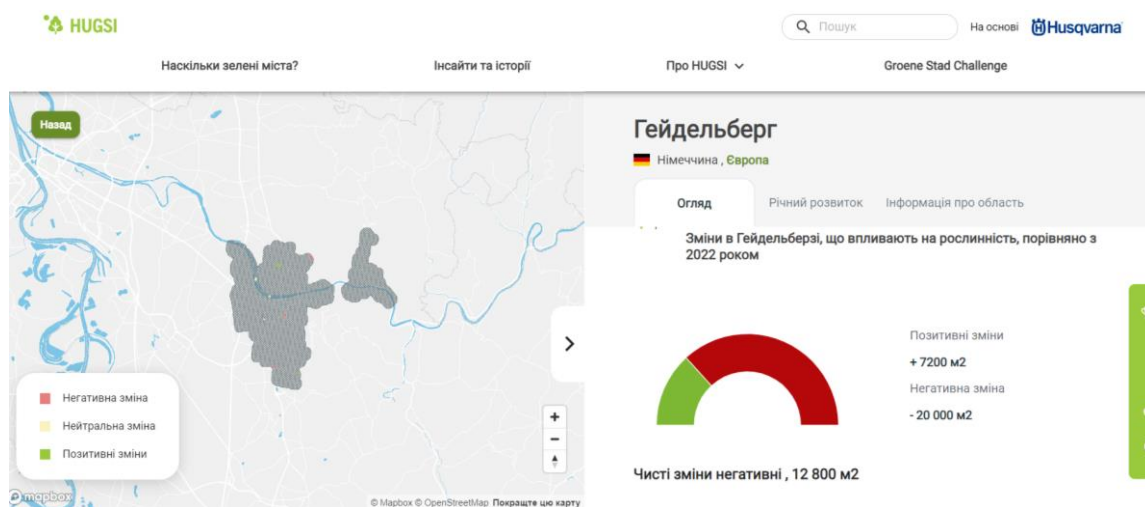


Рис. 1.8. Скриншот екрану інтерфейсу інформаційної програми HUGSI.green (вид крони дерев)

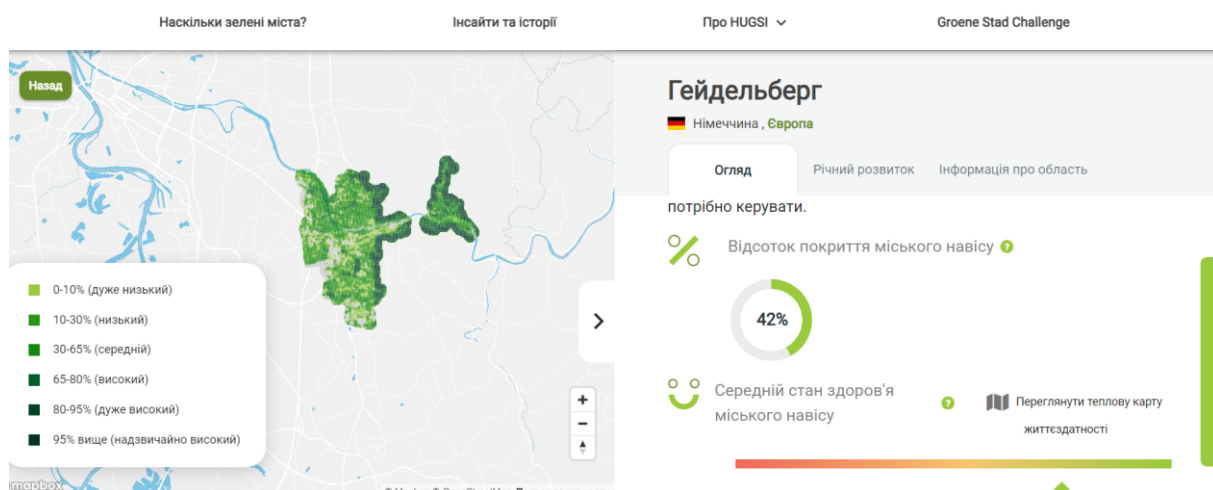


Рис. 1.9. Скриншот екрану інтерфейсу інформаційної програми HUGSI.green (вид біорізноманіття)

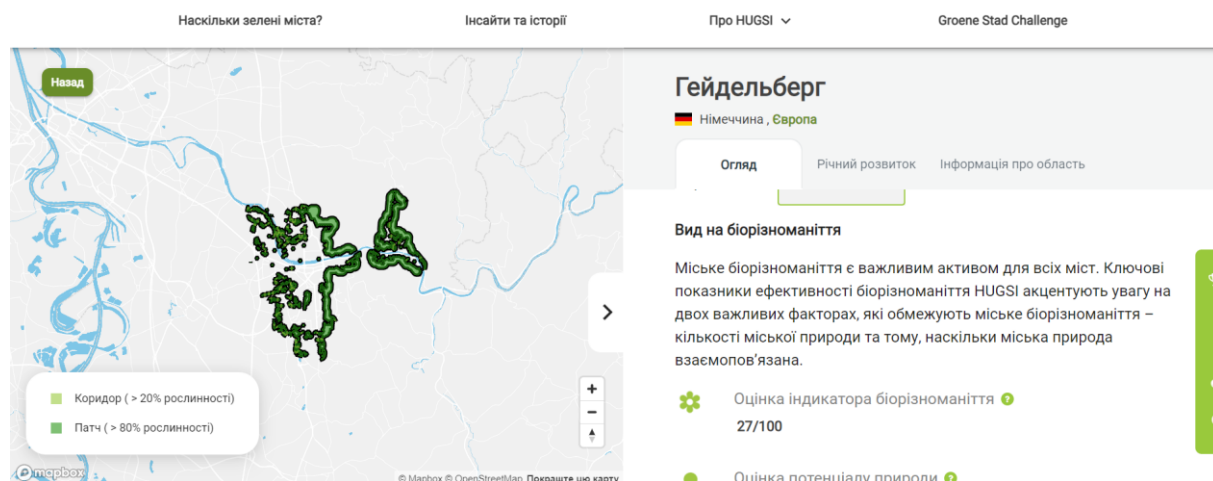


Рис. 1.10. Скриншот екрану інтерфейсу інформаційної програми HUGSI.green (вид та оцінка біорізноманіття)

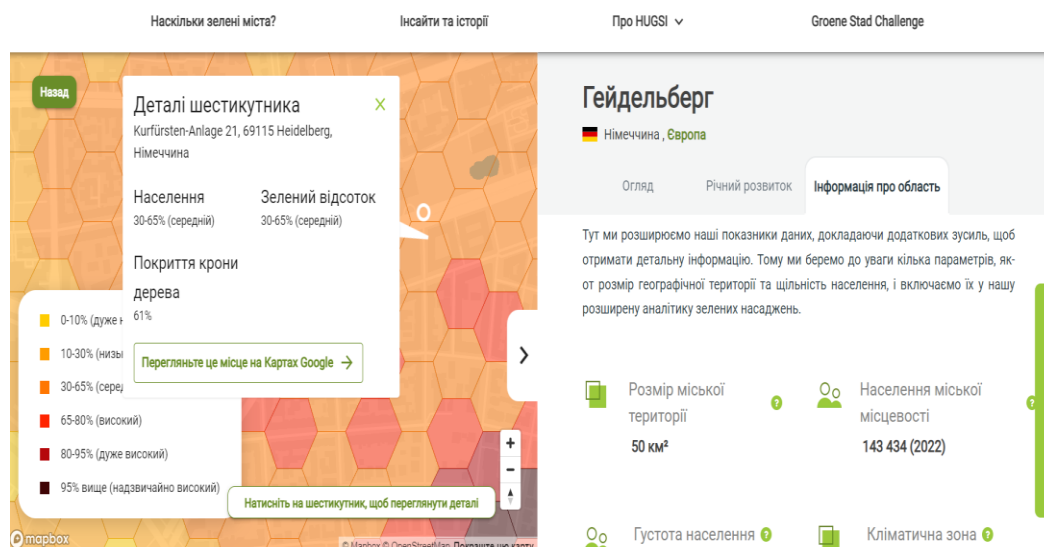


Рис. 1.11. Скриншот екрану інтерфейсу інформаційної програми HUGSI.green (показники зелених насаджень)

Дослідження цієї інформаційної системи про зелені насадження у світі показали великий об'єм інформації, отриманий за допомогою супутникових знімків, та її опрацювання в розрізі декількох років, а також відомості про населений пункт, густоту населення. У цьому випадку відсутня коректна інформація про вид рослинності та її стан, немає 3D-візуалізації.

Інші платформи застосовують альтернативні підходи та технології: зокрема, проєкт **Treepedia** Массачусетського технологічного інституту використовує панорамні фотозображення Google Street View для оцінювання міського деревного покриву та залучення громади до доповнення даних про дерева [108].

Натомість в Україні обсяги доступних даних про міські зелені насадження поки що обмежені, а їх структура та подання – фрагментовані. Схожі платформи представлені геопорталами відкритих даних, у яких є відомості про зелені насадження у вигляді інформації про парки й сквери [3, 4, 27]. Подаються такі загальні дані: назва й площа, схема розташування (рис.1.12).

Аналіз існуючих геопорталів територіальних громад показує відсутність єдиних стандартів наповнення та універсальних технічних рішень для ведення таких даних, а також недостатню узгодженість між різними установами, що відповідають за зелене господарство. Зокрема, класифікація зелених насаджень, яка використовується в Україні, помітно відрізняється від сучасного світового підходу «зеленої інфраструктури», через що пряме порівняння показників озеленення українських міст із зарубіжними є некоректним [136,137,156].

Геопортали населених пунктів України мають різний інтерфейс та інформаційні шари, насамперед це залежить від повноти наповнення відповідними структурними одиницями і чи слугує він для якісного функціонування містобудівного кадастру.

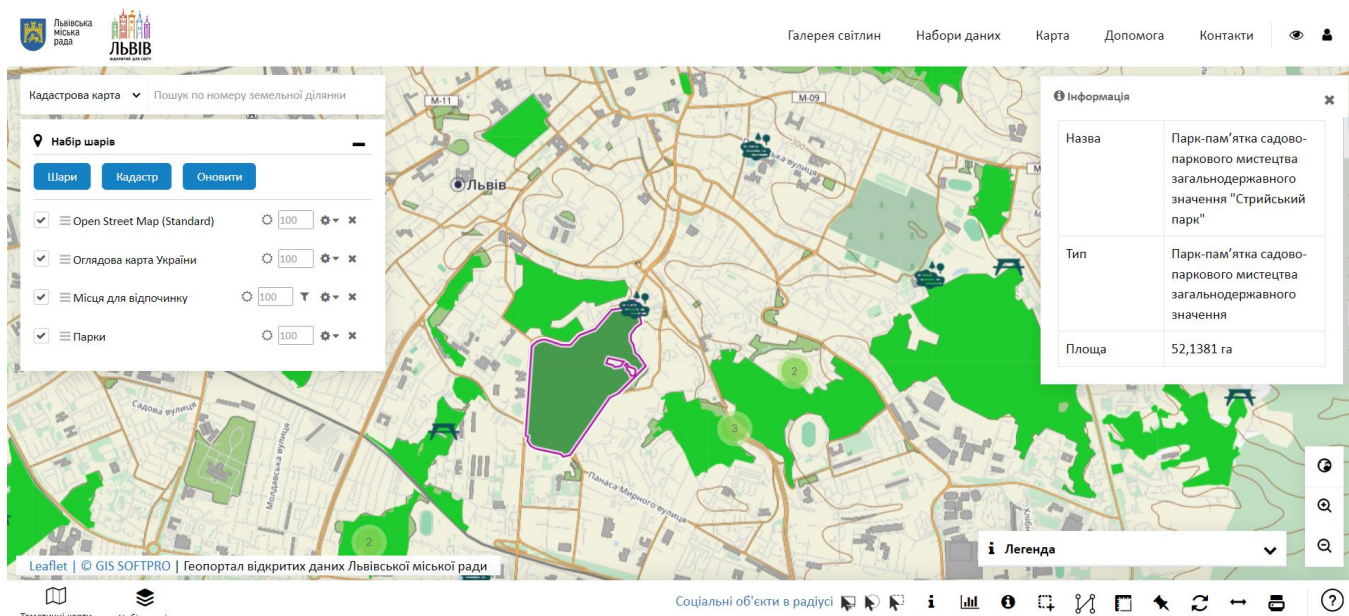


Рис. 1.12. Геопортал відкритих даних м. Львова

Яскравим прикладом є інформаційна система — Моніторинг зелених насаджень м. Одеси (<https://greencity.omr.gov.ua>). Вона містить інформацію про дерева, які розташовані вздовж вулиць (рис. 1.13), їхній вид, стан, висоту, інвентаризаційний номер та має фото. Про сквери й парки (рис. 1.14) інформації менше, є лише загальний опис, площа й назва балансоутримувача. А також представлено інформацію про наявні МАФи на території парку та їхній вид діяльності.

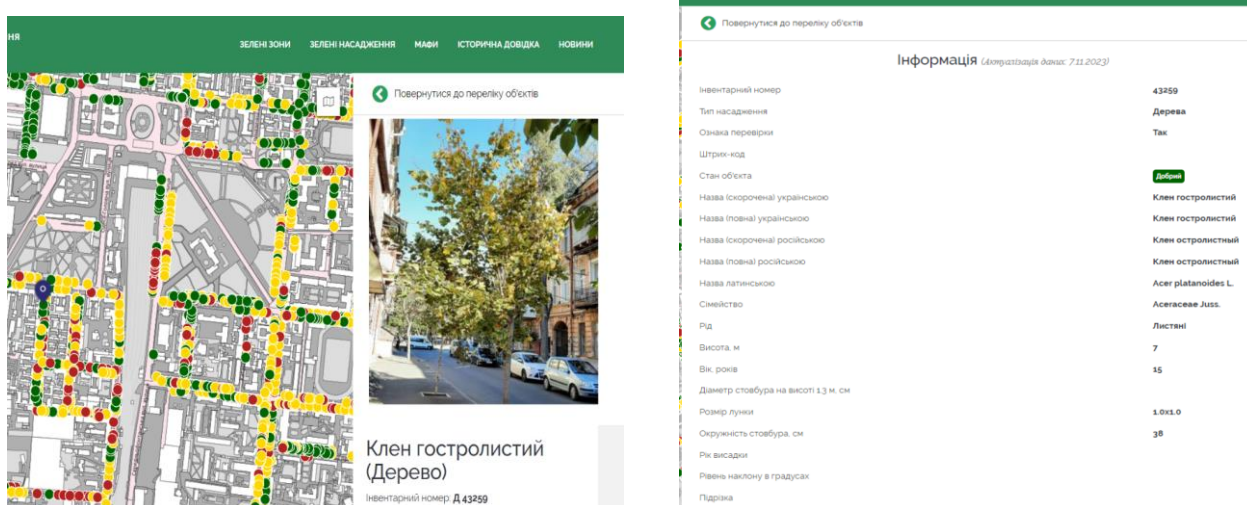


Рис. 1.13. Геопортал відкритих даних — Моніторинг зелених насаджень м. Одеси (насадження вулиць)

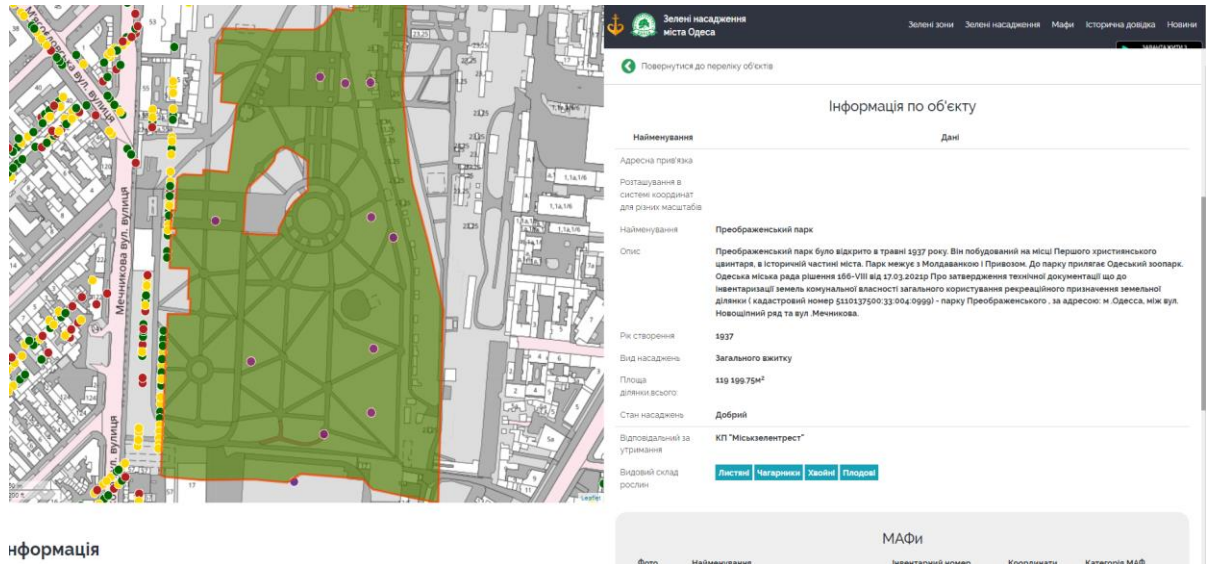


Рис. 1.14. Геопортал відкритих даних — Моніторинг зелених насаджень м. Одеси (парки, сквери)

Багато міст України працює в напрямку цифровізації зелених насаджень, а саме: Біла Церква, Коломия, Дрогобич, Херсон, Рівне, Кропивницький. Поки що наповнення на початковому етапі й зосереджено на окремих програмних продуктах. У Києві відновили роботу з наповнення онлайн-карти дерев, які знаходяться на балансі міста. «Станом на 13 квітня 2023 року в столиці оцифрували майже 23 000 зелених насаджень», — повідомили в Київській міській раді [92]. Міська рада зазначила, що карта стане доступною для публічного використання після закінчення воєнного стану. Онлайн-ресурс міститиме фотографію кожного «оцифрованого» дерева, його точні координати, вид, діаметр стовбура, висоту й стан. Карту розробило Управління екології та природних ресурсів КМДА спільно з КП «ГІОЦ» [92].

Концепція «оцифровування» міських дерев далеко не нова. Багато мегаполісів по всьому світу створюють аналогічні карти, які допомагають вести облік зелених насаджень. Наприклад, у Нью-Йорку міська онлайн-мапа дерев містить дані про понад 850 000 зелених насаджень, що дозволяє місту ефективніше керувати своїми ландшафтними ресурсами [92].

Подібні системи зазвичай містять різноманітну інформацію про кожне дерево, наприклад, його вид, вік, розташування, діаметр стовбура й висоту. Це надає корисну інформацію для міських служб, які займаються плануванням і

підтримкою зелених зон. До того ж такі карти можуть бути відкриті для громадськості, дозволяючи мешканкам і мешканцям ознайомитися з міськими ландшафтами, пропонувати свої ідеї для їхнього покращення й навіть брати участь у громадських заходах щодо озеленення.

Стаття Сергія Винограденка [152] та співавторів присвячена аналізу можливостей використання різних джерел геопросторової інформації для створення тривимірних моделей об'єктів інженерної інфраструктури. У ній розглядаються методи збору даних за допомогою супутникових знімків різної роздільної здатності, безпілотних літальних апаратів, аерофотознімання та наземного лазерного сканування. Значну увагу приділено використанню електронних тахеометрів і тригонометричного нівелювання для отримання точних висотних характеристик, що є надзвичайно важливим для побудови цифрових моделей місцевості. Ці підходи є актуальними для інвентаризації зелених насаджень, оскільки забезпечують отримання просторово-точних даних про розміщення, висоту та інші геометричні параметри дерев, що можуть бути інтегровані до баз даних і кадастрових систем.

У статті Ірини Кошкалди [120] та колективу авторів розглянуто проблематику управління рекреаційними землями в умовах трансформаційних процесів в Україні. Автори підкреслюють важливість збереження природного середовища та ефективного використання рекреаційного потенціалу територій, зокрема зелених насаджень, які є невід'ємною складовою міського ландшафту. Звертається увага на необхідність створення систем обліку, моніторингу та планування використання таких територій, що може бути концептуальним підґрунтям для формування кадастру зелених насаджень. Стаття містить також пропозиції щодо вдосконалення нормативно-правового регулювання, організаційних структур і управлінських механізмів, що робить її цінною для обґрунтування значущості об'єкта дисертаційного дослідження.

Відповідно до вище представленої інформації встановлено, що впровадженню єдиного всеохопного інформаційного ресурсу про зелені насадження в Україні перешкоджає низка організаційних та суспільних проблем:

- Низька обізнаність і зацікавленість суспільства

- Недостатнє фінансування
- Відсутність єдиного технічного рішення
- Нестача нормативної гармонізації
- Слабка міжвідомча взаємодія

На рис. 1.15 представлено систематизацію перешкод щодо створення єдиного інформаційного ресурсу про зелені насадження в межах населених пунктів.

Першою та важливою перешкодою є брак розуміння важливості детальної інформації про зелені насадження з боку широкого загалу населення та навіть відповідних комунальних служб. Дослідники відзначають, що пересічні мешканці часто залишаються осторонь процесів розуміння і розвитку власного зеленого середовища, а отже питання інвентаризації парків і дерев не отримує належної уваги.



Рис. 1.15 Систематизація перешкод щодо створення єдиного інформаційного ресурсу про зелені насадження. Джерело: розроблено автором

Наступним та не менш важливим є фінансування. У бюджетах громад

проекти з інвентаризації зелених зон зазвичай недофінансовані, що гальмує розвиток єдиної системи. Реалізація проєктів із створення та ведення баз даних про зелені насадження вимагає стабільного фінансування, яке може забезпечуватися з різних джерел: бюджетних коштів, меценатських внесків, спонсорської допомоги, міжнародних грантів та підтримки громадських організацій.

На державному чи загальнонаціональному рівні немає уніфікованої платформи або програмного рішення для ведення інвентаризації зелених насаджень. Кожне місто чи громада, за наявності можливостей, запроваджує власні підходи (від простих реєстрів до окремих GIS-порталів), що не інтегруються між собою. Немає налагодженої співпраці та обміну інформацією між різними відомствами й службами (міські комунальні підприємства, екологічні департаменти, земельний кадастр тощо), які володіють даними про зелені насадження. Така розрізненість призводить до дублювання зусиль або прогалин у даних, коли жодна установа не має повної картини. Потребується розробка єдиних вимог, створення узгодженої правової бази та налагодження ефективної міжвідомчої співпраці.

Отже, для успішного створення і розвитку інформаційних ресурсів про зелені насадження необхідно комплексно вирішувати питання підвищення обізнаності, забезпечення належного фінансування, впровадження технічних рішень і вдосконалення нормативного регулювання.

Інформаційні системи мають містити інформацію про розташування, вид, діаметр, висоту й інші характеристики дерев, так вони дозволять місцевим органам влади ідентифікувати проблемні ділянки, планувати заходи з озеленення й контролювати стан існуючих зелених насаджень. Вони також сприяють прозорості й залученню громадськості до процесу ухвалення рішень, оскільки такі системи можуть бути відкритими для громадського доступу. Це також допомагає розвивати нові технології й методології у сфері містобудівного планування, збагачуючи потенціал міст щодо інноваційного управління зеленими зонами та їхнього майбутнього розвитку.

1.3. Дослідження методів виконання інвентаризації зелених насаджень населених пунктів

Вимоги до технології вимірювання зелених насаджень в Україні наразі не регламентовані, окрім тих, що передбачені Інструкцією з топографічного знімання в масштабах 1: 5000, 1: 2000, 1: 1000 та 1: 500 [93].

Останнім часом розробляються методи й засоби, кінцевою метою яких є застосування сучасної автоматизації під час інвентаризації зелених насаджень та оцінки території. Серед них необхідно висвітлити дослідження щодо використання відомостей про інвентаризацію зелених насаджень та утримання різного виду кадастрів із допомогою цифрового аерознімання, статичного й динамічного наземного лазерного сканування, проведення наземної фотозйомки, використання спеціалізованих камер з ефектом риб'ячого ока (FEP) й пристроїв віртуальної реальності (MRDC) [42], високошвидкісного персонального лазерного сканування (PLS) й технології одночасної локалізації та картографії (SLAM) [147], побутових фотоапаратів, смартфонів із відповідними спеціалізованими додатками [113].

Сучасні автоматизовані методи знімання територій із зеленими насадженнями охоплюють широкий спектр технологій, що відрізняються за рівнем точності, масштабністю застосування й ступенем автоматизації процесів. До основних належать [30, 31, 100, 110, 155]:

- Цифрове аерознімання — використання безпілотних літальних апаратів або пілотованих платформ для створення ортофотопланів і 3D-моделей зелених насаджень із висоти.
- Статичне й динамічне наземне лазерне сканування — детальне тривимірне вимірювання простору за допомогою наземних сканерів, що дозволяє отримати високоточні хмари точок.
- Наземна фотограмметрія — методика побудови 3D-моделей на основі аналізу серій фотографій, зроблених із землі.
- Фотограмметрія з використанням спеціалізованих камер з ефектом риб'ячого ока (FEP) — технологія швидкого збору панорамних зображень для

реконструкції навколишнього середовища.

- Пристрої віртуальної реальності (MRDC) — системи змішаної реальності для інтерактивної візуалізації й аналізу зелених насаджень на основі 3D-даних.
- Високошвидкісне персональне лазерне сканування (PLS) — портативні системи лазерного сканування, що забезпечують швидке й детальне моделювання простору при русі оператора.
- Побутові фотоапарати, смартфони з відповідними спеціалізованими додатками — бюджетний інструмент для збирання просторових даних у невеликих масштабах шляхом застосування мобільних технологій і додатків для фотограмметрії.

Проблематика застосування автоматизованих технологій під час інвентаризації зелених насаджень детально вивчається протягом останніх десятиліть. Треба відзначити широкий спектр досліджень процесів автоматизації у світі, частина з яких висвітлена в роботах Kalvoda P., Kuželka K., Tockner A., Wang Y., Witzmann S. [4, 117, 121, 147, 153]. В Україні це питання теж порушується, зокрема розроблено концептуальні положення автоматизації моніторингу стану зелених насаджень міст [95], які передбачають створення інформаційної системи із автоматизованими даними.

В роботі С. Роговського [85] висвітлено проблематику якості проведення ефективної інвентаризації зелених насаджень в Україні. Вивчено, що вона передбачає попереднє виконання геодезичного знімання дерев та інших природних об'єктів на території садово-паркового комплексу. Загальний досвід розробки програмного забезпечення був узагальнений, що дозволяє здійснювати інвентаризацію за допомогою GPS-навігації смартфона й передавати отримані дані на спеціальний вебсайт. Цей процес містить у собі відображення місцезнаходження рослин і пов'язаної інформації на електронній карті міста, а також додавання фотографій флори до інтерактивної міської мапи.

Вищенаведені методи й програмне забезпечення не є вичерпними. Згідно з даними ініціативи 3DForEcoTech [96] сформовано перелік доступних рішень (табл.1.1), що дозволяє працювати з хмарами точок із метою інвентаризації зелених насаджень, а саме ідентифікувати місце розташування окремого дерева,

визначати його висоту й діаметр.

Таблиця 1.1

Програмне забезпечення з функціоналом автоматичного визначення окремих характеристик ЗН

Назва програмного забезпечення	Ліцензія	Тип ліцензії	Реалізація	Вид хмари точок			Input Format .Las / .Laz
				SfM pointclouds	MLS	TLS	
<u>AdTree</u>	Відкрита	GPL-3	c++	✓	✓	✓	
<u>Brycefrank/Allometric</u>	Відкрита		R package	✓	✓	✓	✓
<u>Forest-taxator</u>	Відкрита		c++	✓	✓	✓	✓
<u>OPALS</u>	Відкрита		Python	✓	✓	✓	✓
<u>TLS2trees (fsct_lite)</u>	Відкрита		Python	✓	✓	✓	
<u>FSCT</u>	Відкрита		Python	✓	✓	✓	✓
<u>Treetool</u>	Відкрита	GPL-3	Python	✓	✓	✓	✓
<u>LiDAR 360</u>	Комерційна		Standalone			✓	✓
<u>dendrocloud</u>	Відкрита		Standalone	✓	✓	✓	✓
<u>3DForest</u>	Відкрита	GPL-3	Standalone	✓	✓	✓	
<u>AID-FOREST</u>	Комерційна		Standalone	✓	✓	✓	✓
<u>Computree</u>	Відкрита	GPL/LGPL	Standalone	✓	✓	✓	✓
<u>Point Cloud Tools</u>	Відкрита	CC BY 4.0 license	Matlab7	✓	✓	✓	✓
<u>TreeQSM</u>	Відкрита	GPL-3	Matlab			✓	✓
<u>CspStandSegmentation</u>	Відкрита	GPL-3	R package	✓	✓	✓	✓
<u>VoxR</u>	Відкрита	GPL-3	R package	✓	✓	✓	✓
<u>ITSM</u>	Відкрита	GPL-3	R package	✓	✓	✓	✓
<u>TreeLS</u>	Відкрита	GPL-3	R package	✓	✓	✓	✓
<u>FORTLS</u>	Відкрита	GPL-3	R package			✓	✓
<u>rTLS</u>	Відкрита	GPL-3	R package	✓	✓	✓	
<u>Terasolid</u>	Комерційна		Python,	✓	✓	✓	✓
<u>ArcGIS</u>	Комерційна		Python	✓	✓	✓	✓

Частиною вже оприлюднених рішень щодо інвентаризації зелених насаджень є розроблене програмне забезпечення з використанням матеріалів різних видів дистанційних досліджень, зокрема із застосуванням можливостей

штучного інтелекту. Деякі з рішень уже успішно випробувані під час масової інвентаризації зелених насаджень, зокрема метод MTLs-AIDFOREST [139]. Це програмне забезпечення здатне автоматизовано визначати характеристики лісових насаджень у режимі реального часу за допомогою рухомої лазерної скануючої системи на основі шолома віртуальної реальності [125].

Для повноцінного виконання інвентаризації ЗН необхідно визначити ще й планові характеристики газонів, тротуарів, квітників і живоплотів. Тому переважну більшість цих засобів потрібно використовувати в комплексі з картографічними редакторами чи ГІС.

Більшість сучасних геоінформаційних ресурсів за певних налаштувань дозволяють автоматизовувати певні процеси під час ідентифікації зелених насаджень. Зокрема в роботі Т. Ritter [135] для досліджуваних цілей, використовувалось програмне забезпечення R, а LASTools безпосередньо викликаються системними командами з цих R-скриптів. У дослідженні Wilkes P. [154] сегментовано інформацію про характеристики дерев з коефіцієнтом відповідності 82%.

Згідно з роботою [126] підходи на основі TLS можуть забезпечити оцінку діаметра стовбура та його кривої з точністю 1 – 2 см, що є близьким до того, що потрібно в практичних застосуваннях, наприклад, інвентаризації. Також визначено п'ять безпосередньо вимірюваних критеріїв із даних TLS на рівні ділянки й дерева: діаметр на висоті грудей (1,3 м), висота й положення дерева, крива стовбура (його діаметр як функція висоти) і цифрова модель рельєфу (DTM).

Згідно з роботою [149] метод LSR забезпечив трохи вищі значення, ніж вимірювання звичайним штангенциркулем — 1,17 см. У пілотних дослідженнях [128] більше 97% дерев вдалося виявити правильно, а діаметр стовбура можна було визначити з точністю близько 1,8 см. У праці [127] структуровано залежність між середньою відстанню сканування, густотою стебла й похибкою оцінки висоти на рівні грудей, яка коливалась від 0,2 см до 7,6 см під час різних підходах, і встановлені помилки від 0,1 до 1,5 метра під час визначення висот.

Ці методи активно використовуються під час інвентаризації зелених насаджень, вони дозволяють підвищити оперативність, точність і доступність

збору геопросторової інформації.

На рис. 1.16 представлено схематичне зображення можливих автоматизованих методів знімання території із зеленими насадженнями [12, 52, 130].

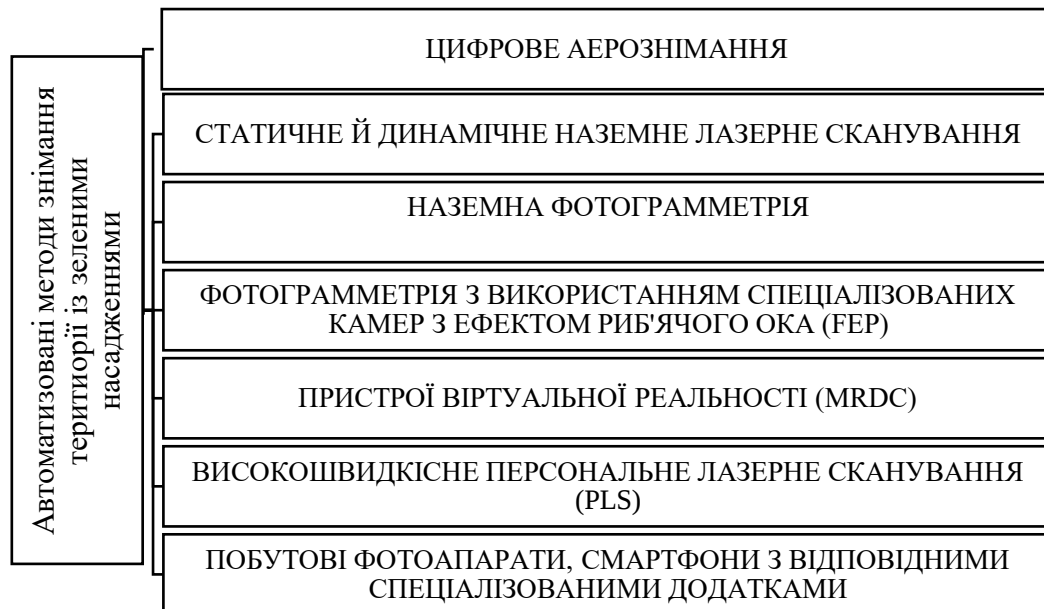


Рис. 1.16 Перелік автоматизованих методів знімання територій із зеленими насадженнями Джерело: систематизовано автором на основі 12, 52, 130

Деякі питання щодо доцільності застосування окремих технологій НЛС, наземної фотограмметрії, їхнього поєднання й авіаційного лазерного сканування опрацьовані в роботах [19, 54].

Проведені дослідження щодо оптимізації виконання наземного лазерного сканування з метою інвентаризації зелених насаджень [97].

У роботі [130] класифіковано залежність між величиною досліджуваної території зелених насаджень, її складністю й рекомендованим способом дослідження. Вищенаведені рекомендації варто застосовувати й дотримуватися не тільки технічних характеристик приладів для збору інформації, але й законодавчої основи. Зокрема, згідно з [68] інвентаризацією рослинності об'єктів зеленого господарства площею до 5-ти га й зелених насаджень уздовж вулиць, повинна опиратись на топографічну основу в масштабі 1:500. Поєднавши поради й законодавчі вимоги, робимо висновок про можливість використання даних НЛС для досліджень як поодиноких реліктових об'єктів рекреації, так і

невеликих за площею, цінних об'єктів зеленого господарства.

Наземне лазерне сканування стає одним із ключових інструментів для оцифрування зелених насаджень у середовищі міста. Цей метод дозволяє отримувати детальні 3D-зображення об'єктів, включно з деревами, чагарниками й іншими елементами зелених зон. Використання наземного лазерного сканування як частини інформаційних систем для рослинності додає точності й дозволяє отримувати дані з високою деталізацією, що допомагає в просторовому плануванні.

Наземне лазерне сканування може бути використане для отримання точної інформації про висоту, об'єм, густоту листя й інші параметри дерев. Ці відомості можна інтегрувати в інформаційні системи, які містять цифрові карти й бази даних про зелені насадження. Отже, ця технологія сприяє більш точному обліку зелених зон, кращому плануванню їхнього обслуговування й ефективному розміщенню нової рослинності.

Застосування лазерного сканування в поєднанні з інформаційними системами для оцифрування зелених насаджень відкриває можливість для більш ефективного й точного просторового планування [53, 54]. Це дозволяє краще розуміти структуру міських ландшафтів, виявляти ділянки, що потребують уваги, та розробляти стратегії для поліпшення зелених зон у процесі проведення міського планування.

Завдяки цьому міста можуть підвищити якість своїх зелених насаджень, сприяти сталому розвитку та забезпечувати більш привабливе й здорове середовище для своїх жительок і жителів. Наземне лазерне сканування є потужним інструментом, що допомагає розвитку інноваційних підходів у міському плануванні й екологічній стійкості.

Тенденції розвитку наземного лазерного сканування (НЛС) у світі показують значний прогрес через використання цієї технології в різних галузях, таких як: сканування будівель і споруд, у будівництві, архітектурі, містобудуванні, виробництві, лісовому господарстві, археології й інших галузях. У нинішніх реаліях це сканування руйнувань. Популярності застосування НЛС сприяє постійне покращення апаратних і програмних компонентів, що дозволяє

досягати вищої точності вимірювань та отримання зображень у високій роздільній здатності. Також поява мобільних моделей і портативних TLS-систем підкреслює їхню доступність і зручність у різних умовах використання [30, 31, 40, 53, 54, 100, 110, 155].

Важливим аспектом є використання ІІІ для автоматизації у відсіві й аналізі даних НЛС, що спрощує процес опрацювання інформації й дозволяє отримувати більше й швидше із якісним опрацюванням. Прописані алгоритми й програмне забезпечення для аналізу об'єктів, отриманих із НЛС, є автоматизованими та виконуються за допомогою роботизованих систем, що дає змогу покращити ефективність і швидкість збору інформації для різних потреб, у нашому випадку для кадастру.

З метою кращого управління урбанізованими територіями і їхнім зонуванням важливим є створення тривимірних моделей міст, що забезпечує НЛС [30, 31, 100, 110, 155]. Накопичення даних та їхнє опрацювання дозволить впровадити концепцію «Смарт-місто» й акцентувати увагу на вивченні й моніторингові таких екологічних аспектів, як: зелені насадження, стан екосистем і виявлення змін у природних конгломератах.

Отже, стрімке розширення можливостей застосування НЛС у різних галузях, спрощення й автоматизація процесів, а також постійне удосконалення технічних характеристик і точності — усе це дає великий поштовх у розвитку нових технологій для управління територіями.

На сучасний момент у світі проводиться значна кількість наземного лазерного сканування (НЛС). Ці сканери представлені різноманітністю моделей, які відрізняються технічними характеристиками, принципом дії, розмірами й призначенням [30, 31, 40, 89, 110]. Основні параметри НЛС, які визначають їхні можливості, включають дальність дії й точність. Більшість моделей НЛС, наявних на ринку, обмежені в максимальній дальності дії. Вони володіють високою точністю визначення координат точок, але призначені для створення тривимірних моделей дрібних деталей. Головне їхнє використання знаходиться в машинобудуванні й медицині [76]. Останнім часом з'являються все більш прогресивні моделі наземних лазерних сканерів, які постійно вдосконалюються

та впроваджують нові технології.

Стаття [40], авторами якої є Євген Дорожко та колеги, має прикладне спрямування й присвячена побудові цифрових 3D-моделей місцевості за результатами сканування мобільним лазерним сканером Trimble MX2. У публікації детально описано технічні характеристики сканера, процес збору даних у русі без зупинки транспортного потоку, а також особливості оброблення хмари точок за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення. Представлено приклади побудови цифрових моделей об'єктів транспортної інфраструктури, які можуть бути безпосередньо адаптовані до завдань інвентаризації зелених насаджень уздовж вулиць, у парках та інших урбанізованих просторах. Стаття акцентує увагу на виборі технології сканування, оцінці точності й планування практичної реалізації геопросторового моніторингу в межах дисертаційного дослідження.

У дисертації О. Наміната представлено класифікацію НЛС із переліком сфер застосування відповідно до радіусу дії [76]. Відповідно до цього класифікатора можна стверджувати, що використання НЛС можливе для потреб кадастру в сфері моніторингу й картографування — для наповнення достовірною інформацією.

Відповідно до досліджень принципу роботи НЛС, технічних характеристик програмних продуктів та аналізу наукових публікацій [31, 40, 76, 138, 141, 148] систематизовано переваги використання такого збору інформації, щоб наповнити кадастри й використовувати їх для потреб просторового планування. Такі роботи повинні здійснюватися для точного й ефективного обліку земельних об'єктів та їхніх характеристик. На рис. 1.17 представлені основні аспекти й переваги використання НЛЗ для потреб кадастру.

Розвиток кадастрових систем і впровадження геопорталів для міст, територіальних громад диктують необхідність отримувати якісні дані.

Базою для всіх кадастрових системах є топографічна основа. Якщо вона отримана за допомогою сканування, то містить ряд переваг, оскільки НЛС дозволяє точно визначити геометричні параметри земельних ділянок, розташування об'єктів і таких структур на земельних ділянках, як: будівлі,

дороги, водойми, дерева включно з їхньою формою й розмірами. Топографічна карта детально відображає рельєф території, враховує висотні різниці й контури різних ландшафтних форм тощо. Це надає можливість отримати точні плани ділянок, що є важливим для розвитку й планування використання землі, допомагає у визначенні оптимальних стратегій розвитку місцевості, враховує територіальні особливості.

Топографічні дані	Топографічні дані про земельні ділянки, що містять їхню форму, рельєф, розташування будинків і споруд.
Створення цифрових моделей місцевості	Створення тривимірних цифрових моделей місцевості, що дозволяє детально вивчати територію.
Контроль	Використання НЛС дає змогу здійснювати періодичний облік змін у рельєфі й стані земельних ділянок (зсуви, ерозія).
Оцінка стану зелених зон	НЛС може бути використане для оцінки стану й розміщення зелених насаджень на території, що є важливим для екологічного та ландшафтного планування.
Архітектурний облік	Створення тривимірних цифрових моделей будинків і споруд, отримання точних відомостей щодо їхньої геометрії, стану й розміщення.
Планування й зонування	НЛС допомагає у визначенні оптимального використання земельних ресурсів, плануванні розвитку територій і визначенні зон для різних функціональних призначень.
Інвентаризація й облік	Ефективний облік та інвентаризація земельних ресурсів, забезпечення актуальних і точних даних для кадастрових систем.

Рис. 1.17. Використання НЛС для потреб кадастру

Джерело: систематизовано автором

Створення цифрових моделей місцевості за допомогою наземного лазерного сканування (НЛС) є важливим етапом у просторовому плануванні територіями [30, 31, 40, 100, 110, 155]. Цей процес відкриває широкі можливості для детального вивчення земельних об'єктів та їхнього оточення. Розгляньмо

докладніше, чому створення цифрових моделей є ключовим аспектом для планування й ведення кадастру як на місцевому, так і на регіональному рівнях:

- Наземне лазерне сканування надає велику роздільну здатність під час створення цифрових моделей. Це дозволяє отримувати детальні й високоякісні тривимірні репрезентації місцевості, включно з будівлями, рельєфом, різноманітними об'єктами тощо.

- Створені цифрові моделі місцевості надають можливість віртуального огляду території. Це чудовий спосіб для користувачок і користувачів вивчати місцевість із різних кутів і визначати специфічні деталі об'єктів, що є важливим для планування й аналізу.

- Цифрові моделі, створені за допомогою НЛС, можуть бути інтерактивними. Користувачі і користувачки можуть взаємодіяти з моделлю, збільшуючи, обертаючи й переходячи між різними точками, що робить дослідження місцевості більш динамічним та ефективним.

- Створені цифрові моделі надають засоби для аналізу просторових взаємодій між об'єктами. Отже, з їхньою допомогою можна визначити оптимальні розташування для нових будівель, доріг чи зон відпочинку, що важливо для розробки й планування міського простору.

- Цифрові моделі, створені за допомогою НЛС, можуть використовуватися для моніторингу змін у часі. Це особливо актуально для визначення росту міст і розвитку інфраструктури, а також для виявлення змін у природних об'єктах.

Наземне лазерне сканування відіграє важливу роль у здійсненні контролю. Воно надає можливість проводити систематичний та ефективний контроль за зміною рельєфу, виявляти ерозію й зсуви ґрунту. У разі природних катастроф, таких як повені чи землетруси, НЛС дозволяє провести оперативний моніторинг і визначити, чи відбулися зміни в рельєфі й геометрії земельних об'єктів. Ця інформація дає змогу адаптувати кадастрові дані до нових умов, що є важливим для динамічного й ефективного управління територіями.

Оцінка стану зелених зон потрібна під час розроблення СЕО, що розглядається як інструмент стратегічного планування [20, 67, 90, 91]. Він спрямований на впровадження екологічних пріоритетів у програми, плани й

політику. СЕО має на меті на високому рівні забезпечити захист навколишнього середовища й сприяти інтеграції екологічних аспектів у розробку планів, сталому розвитку зелених зон і певної території загалом. НЛС дозволяє точно визначити розміщення зелених насаджень на території, включно з деревами, чагарниками, газонами й іншими елементами. Це важливо для створення актуальних карт розміщення рослинності та їхнього видового розмаїття. Аналіз даних дозволяє виявляти зони, де зелені насадження можуть перебувати в стані деградації, оперативно реагувати на проблеми й вживати заходів для відновлення екосистемної рівноваги. Детальна інформація може слугувати основою для розроблення ландшафтних проєктів та архітектурних рішень. Врахування рельєфу й розміщення рослин дозволяє створювати гармонійні й естетично вигідні ландшафтні композиції.

Актуальна й точна інформація про будівлі й споруди є запорукою якісного ведення містобудівного кадастру й створення геопорталу для архітектурного обліку, важливим етапом у процесі проєктування, будівництва й управління об'єктами забудови [119, 129, 131, 140, 150]. НЛС допомагає отримувати детальні й точні дані про геометрію й розміщення будівель, що має ряд переваг для архітектурного проєктування та ефективного використання міського простору. Отримана інформація може слугувати основою для створення точних цифрових моделей архітектурних об'єктів, які використовуються в архітектурному проєктуванні, візуалізації й комунікації ідеї між учасниками та учасницями будівельного процесу. НЛС дає змогу проводити моніторинг будівель та об'єктів забудови протягом часу, оцінити їхню стійкість і безпеку. Це корисно для виявлення будь-яких змін, таких як пошкодження або знос, що можуть вимагати ремонт чи реконструкцію.

Для ведення земельного кадастру й розробки сталого розвитку територій ключовим елементом є зонування, що спрямоване на оптимізацію використання земельних ресурсів громади [62, 75, 119, 140, 150]. Інформація, отримана від НЛС, дає змогу визначити різні функціональні зони на територіях, а саме: житлові, комерційні, рекреаційні чи промислові. Вона також дозволяє розробляти ефективні стратегії для нових будівельних об'єктів та

інфраструктури, щоб вони гармонійно вписувалися в наявне середовище. Планування на основі даних НЛС сприяє ефективному розміщенню таких інфраструктурних засобів, як: транспортні й комунікаційні мережі, енергетичні системи. Аналіз топографічних даних, отриманих за допомогою НЛС, дозволяє розміщувати інфраструктуру з урахуванням географічних особливостей і густоти населення.

Відомо, що кожен землевпорядник і кожна землевпорядниця мріє про інвентаризацію земель у межах своєї територіальної громади [74], що є основою всіх наступних робіт. Інвентаризація й облік за допомогою лазерного сканування визначають нові аспекти, які підкреслюють важливість цього підходу, а саме:

1. НЛС допомагає значно прискорити процес інвентаризації земельних ресурсів порівняно з традиційними методами. Високоточні лазерні вимірювання дозволяють отримувати детальні дані про рельєф, розташування об'єктів та їхні розміри, враховуючи тисячі точок за секунду. Це робить інвентаризацію швидкою й надзвичайно точною, що є критичним для правильного управління земельними ресурсами.

2. НЛС може використовуватися для періодичного моніторингу змін у земельних ділянках. Завдяки йому можна швидко виявляти будь-які зміни: чи то нові будівлі, чи то зміни в рельєфі, чи то розміщення рослинності. Такий моніторинг допомагає вчасно реагувати на зміни й забезпечує актуальність кадастрових даних.

3. НЛС забезпечує високу точність геопросторових даних, що є перспективним для кадастрових систем. Це дозволяє не лише повністю визначити межі земельних ділянок, але й забезпечити детальні координати для об'єктів на цих ділянках. Точні й достовірні геопросторові дані є основою для розроблення ефективних кадастрових систем.

4. Відомості, отримані за допомогою НЛС, стають основою для ефективного управління земельними ресурсами. Вони допомагають органам місцевого самоврядування ухвалювати обґрунтовані рішення щодо використання й розподілу землі в містах, що є важливим для сталого розвитку й задоволення потреб громади.

5. За допомогою даних НЛС кадастрові системи можуть надавати інтерактивні й візуалізовані відомості, що полегшує сприйняття й розуміння інформації для кінцевих користувачів і користувачок. Така прозорість і доступність даних покращує комунікацію між органами влади, громадою й іншими зацікавленими сторонами.

6. Автоматизація процесів управління й моніторинг земельних ресурсів — це безперечна перевага. Наприклад, створення алгоритмів для автоматичного виявлення змін на земельних ділянках чи взаємодія з геоінформаційними системами для оперативного оновлення даних у кадастрових базах. Такий підхід дозволяє значно зменшити людський фактор і забезпечити більшу швидкість реагування на зміни у використанні землі.

Системи кадастрового обліку, побудовані на основі даних НЛС, можуть також використовувати розширені аналітичні засоби для прогнозування й планування використання територій. Це стає надзвичайно важливим у контексті сталого розвитку й планування, де необхідно враховувати багато різноманітних факторів.

Загалом НЛС відкриває нові можливості для розвитку сучасних кадастрових систем, які відповідають вимогам сьогодення й сприяють ефективному та сталому використанню земельних ресурсів.

Висновки до першого розділу

Цей розділ спрямований на дослідження даних, необхідних для моделювання просторової організації зелених насаджень, з метою їхнього якісного упорядкування й ефективного використання, а саме:

1. Процес інвентаризації зелених насаджень ускладнюється через суперечності в законодавстві та нормативних актах.
2. Проаналізовано поточний стан і тенденції в сфері збору інформації щодо просторового розташування дерев і чагарників. Було оцінено сучасні методи візуалізації цієї інформації й на основі цього визначено оптимальний набір інструментів для забезпечення якісної інвентаризації зелених насаджень для кадастрових потреб.

3. Систематизовано необхідний обсяг і структуру інформації про зелені насадження, необхідної для моделювання просторової організації цих об'єктів.

4. Проведено дослідження наповнення наявних інформаційних систем даними про зелені насадження. Встановлено, що кожен орган місцевого самоврядування й суб'єкт господарювання використовує власну платформу, що ускладнює стандартизацію. Крім того, відсутні єдині вимоги до змісту й формату таких порталів, що ускладнює обмін даними між різними відомствами та організаціями.

5. Недостатня інформованість про зелені насадження вимагає дослідження шляхів наповнення баз даних і вирішення наявних проблем.

6. Проведено огляд доступних технологій і програмних засобів, що дозволяють опрацьовувати результати лазерного сканування з метою інвентаризації зелених насаджень.

7. Систематизовано переваги використання наземного лазерного сканування для кадастрових потреб і заповнення інформаційних систем даними. НЛС допомагає отримувати детальні тривимірні дані про розташування й структуру зелених насаджень, що підвищує точність обліку й дозволяє ефективно планувати майбутнє озеленення.

РОЗДІЛ 2

РОЗРОБЛЕННЯ МЕТОДИКИ ІНВЕНТАРИЗАЦІЇ ЗЕЛЕНИХ НАСАДЖЕНЬ ДЛЯ ПОТРЕБ КАДАСТРУ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ НАЗЕМНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНУВАННЯ

2.1. Формування інформаційної бази даних про зелені насадження

Для ефективного розкриття етапності формування й наповнення інформаційної бази даних про зелені насадження в населених пунктах і територіальних громадах потрібно чітко розуміти визначення таких баз. Вони трактуються як інформаційні системи, що можна пояснювати як структурована й організована колекція даних, яка зберігається й використовується для підтримки певних функцій або процесів. Вона може включати різноманітні документи, архіви, електронні ресурси або будь-який інший вид інформації, яка може бути використана для відповідних цілей. У Порядку [49] є визначення, що інформаційна система — це кадастр, геоінформаційна система чи база геопросторових даних.

Чинне законодавство визначає термін «база геопросторових даних» [49] як набір геопросторових даних, які показують стан об'єктів у конкретній області та їхні взаємозв'язки, проте не утворює геоінформаційну систему [49, 55].

Закон України «Про національну інфраструктуру геопросторових даних» [24] дає детальні визначення відповідних систем і баз даних, а також встановлює правові й організаційні принципи для створення, функціонування й розвитку національної інфраструктури геопросторових даних. Його мета полягає в забезпеченні органами державної влади й місцевого самоврядування ефективним управлінням, задоволенні потреб суспільства у всіх видах географічної інформації й інтеграції в глобальні та європейські інфраструктури геопросторових даних. Відповідно до Додатку цього Закону, одним із видів (наборів) геопросторових даних є земний покрив, який містить у собі сільськогосподарські території; непокриті землі або з незначним рослинним покривом; лісові масиви та інші землі з лісовим покривом; водні об'єкти; землі,

призначені для житлової забудови; землі для громадських будівель і споруд; транспортні території; технічна інфраструктура; промислові території; землі під поточним будівництвом та призначені для майбутньої побудови; господарські споруди й подвір'я; землі для відпочинку й рекреації; території під спеціальними об'єктами й спорудами. Отже, зелені насадження є базовим об'єктом для багатьох інформаційних систем.

Нормативно-правові акти [20, 38, 46, 68, 70] безпосередньо регламентують проведення інвентаризації й моніторингу стану зелених насаджень із метою їхньої охорони й збереження у містах та інших населених пунктах, утримання в здоровому й упорядкованому стані, створення бази даних для розроблення програм будівництва, відновлення й експлуатації об'єктів зеленого господарства. Питання конкретного механізму збору інформації та взаємодії з іншими інформаційними й кадастровими базами даних залишається відкритим.

Відповідно до Додатку 6 розділу 15 «Правил утримання зелених насаджень у населених пунктах України» [68], нормативні показники озеленення становлять 10 м^2 — 15 м^2 на особу. Утриманню, догляду та відновленню підлягають об'єкти благоустрою у сфері зеленого господарства населених пунктів (рис. 2.1).

	парки, парки культури та відпочинку, парки-пам'ятки садово-паркового мистецтва, гідропарки, лугопарки, лісопарки, буферні парки, районні сади
	дендрологічні, національні, меморіальні та інші парки
	сквери, зелені насадження прибудинкової території
	міські ліси
	зони рекреації
	зелені насадження в охоронних та санітарно-захисних зонах, зони особливого використання земель
	прибережні зелені насадження

Рис. 2.1. Перелік об'єктів для формування бази даних

Джерело: систематизовано автором на основі 38, 46, 68, 70

Згідно з Наказом №105 від 10.04.2006 року «Про затвердження Правил утримання зелених насаджень у населених пунктах України» Міністерства будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства України (Розділ 2. Визначення термінів) зелені насадження поділяють на три види.

Перший вид — зелені насадження загального призначення, до яких відносять міські й районні парки, парки культури й відпочинку, сади житлових районів і груп житлових будинків, сквери, бульвари, набережні, лісопарки, лугопарки, гідропарки та інші об'єкти [68].

Другий вид — насадження обмеженого користування на територіях громадських і житлових будівель, шкіл, дитячих закладів, спортивних споруд, закладів охорони здоров'я, промислових підприємств, складських територій та інші об'єкти [68].

Третій вид — це зелені насадження спеціального призначення, які розташовані вздовж вулиць, у санітарно-захисних і охоронних зонах, на територіях ботанічних і зоологічних садів, виставок, кладовищ і крематоріїв, ліній електропередач високої напруги; лісомеліоративні насадження; насадження розсадників, квітникарських господарств; пришляхові насадження в межах міст та інших населених пунктів [68]. Кожен із видів може належати до природно-заповідного фонду України [20].

Згідно з [68], проводиться реєстрація всіх типів зелених насаджень, а саме: дерев, кущів, газонів і квітників. Цей процес базується на даних інвентаризації зелених насаджень і матеріалах лісовпорядкування в міських лісах і лісопарках. За інформацією з інвентаризації формується паспорт об'єкта (досягнення благоустрою, території підприємств, установ, організацій, інших земельних ділянок, де розташовані зелені насадження) за узгодженою формою, який підлягає плановому оновленню кожні п'ять років.

Формування бази даних про об'єкти зеленого господарства є надзвичайно важливим і одним із ключових етапів ведення реєстру зелених насаджень. Цей документ містить зведену інформацію про різноманітність типів, види, вік, якість і кількість зелених насаджень на території населеного пункту. Збір і

узагальнення цих відомостей проводиться як на електронних, так і на паперових носіях.

Головною метою ведення реєстру зелених насаджень є:

- збір достовірної й комплексної інформації щодо кількості й стану зелених насаджень;
- проведення моніторингу їхнього стану й кількості;
- визначення ключових напрямків політики на рівні селищ, районів і міст щодо утримання, розвитку й захисту зелених насаджень;
- розроблення програм і заходів щодо розвитку зелених зон у населених пунктах України.

Інформаційна база щодо об'єктів благоустрою зеленого господарства збирається на основі паспортів об'єктів у розрізі територій населених пунктів (сільських, селищних, районних і міських) відповідно до встановленої форми (додаток 9 [68]). Зведений реєстр зелених насаджень населених пунктів формується на основі даних реєстру об'єктів благоустрою зеленого господарства (додаток 10 [68]). Оновлення інформації в реєстрах здійснюється таким чином: на об'єктах благоустрою державної або комунальної власності — один раз за 2 роки; на інших територіях — один раз за 5 років.

Отже, до інформаційної бази даних, відповідно до вимог нормативного акта [68], потрібно внести відомості про зелені насадження (рис. 2.2).

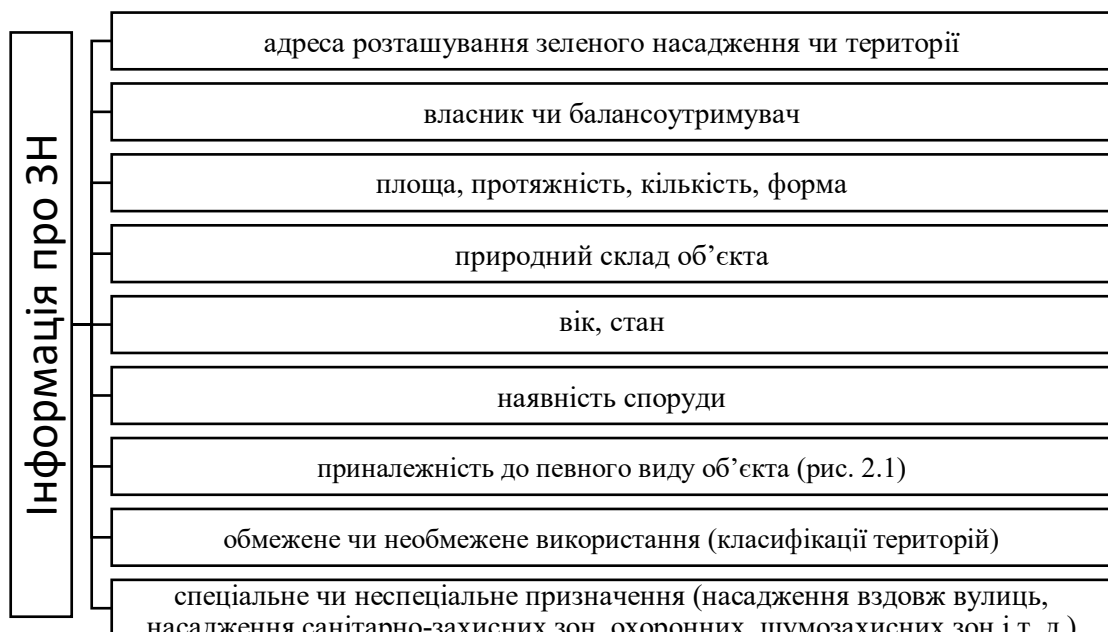


Рис. 2.2. Перелік інформації необхідної для утримання зелених насаджень

Джерело: систематизовано та уніфіковано автором

Відповідно до рис. 2.2, збір інформації служить для повноцінного утримання зелених насаджень на відповідній території. Запропонована інформація є достатньо розширеною й вимагає певного часу для її отримання, особливо із визначенням площ, кількості, якості. Такі реєстри дають можливість наповнити базу даних для створення геоінформаційної системи окремих територій.

Паралельно з веденням реєстрів важливим є процес картографування й створення тематичних карт. Для ефективного використання ресурсів як людських, так і матеріальних у процесі будівництва й обслуговування об'єктів зеленого господарства потрібно розробляти технологічні карти. Вона складаються з технології та розрахунку вартості різних видів робіт, а саме: посадка дерев і кущів; створення газонів і квітників; облаштування площадок і доріжок з урахуванням сучасних машин і механізмів; роботи з догляду за деревами, кущами, газонами, квітниками та іншими елементами благоустрою тощо [68].

Розробка технологічних карт здійснюється підприємствами-балансоутримувачами, власниками або користувачами земельних ділянок, де розташовані зелені насадження [68].

Відповідно до цієї інформації під час розроблення інформаційної бази зелених насаджень, потрібно приділити увагу розділу технологічної карти, яка має бути інтерактивною.

У Положенні [70] вказується, що мета системи моніторингу зелених насаджень полягає в створенні екологічних баз даних для їхнього загального використання, застосовуючи єдину комп'ютерну мережу. Ця мережа забезпечує автономну й спільну роботу складових системи та їхню взаємодію з іншими інформаційними системами, що діють як в Україні, так і за кордоном.

Також слід зазначити, що тут представлено детальніший перелік об'єктів моніторингу, ніж на рис. 2.1, який доповнюється такими об'єктами: зелені насадження вулиць і доріг, алей, бульварів.

Система моніторингу передбачає реалізацію цілого комплексу заходів для

огляду й оцінки стану зелених насаджень, а саме:

- інвентаризацію;
- ведення звітності;
- облік;
- огляд.

Дані заходи передбачають проведення обстежень, збір даних про різноманітні аспекти зеленого господарства, аналіз впливу факторів середовища на їхній розвиток, а також оцінку потенційних загроз і шляхів їхнього запобігання.

Ведення звітності передбачає збір інформації для заповнення реєстрів. Форми звітності затверджуються органами місцевого самоврядування (п. 2.2 [70]). За результатами виконаної інвентаризації складається паспорт об'єкта. Форма паспортизації затверджується балансоутримувачем. Також облік передбачає ведення реєстру за видовим складом і віком, що передбачено вимогами Закону України «Про благоустрій населених пунктів».

Для контролю за станом зелених насаджень у містах та селищах міського типу балансоутримувач об'єкта благоустрою зеленого господарства здійснює регулярні, планові й позачергові огляди. Загальні огляди проводяться двічі на рік — у весняний та осінній періоди. Під час загального огляду перевіряються всі елементи зеленого господарства, у той час як часткові огляди фокусуються лише на окремих компонентах. Позачергові огляди проводяться в разі таких надзвичайних ситуацій, як: зливи, урагани, сильні вітри, снігопади, паводки та інші природні лиха.

Відповідно до вищевикладеної інформації можна стверджувати, що інвентаризація зелених насаджень є основою та першоджерелом для наповнення баз даних про насадження в межах територіальних громад. Для того, щоб задовільнити потреби в інформації всіх відомств та установ, реєстрів, паспортів об'єктів, потрібно поставити чітке завдання щодо об'ємів інвентаризації, переліку відповідних видів робіт і залучення різних фахівців та фахівчинь.

У Наказі [38] викладена інструкція із інвентаризації ЗН, проте чіткий алгоритм дій і послідовностей у створенні бази даних не вказаний, що є

необхідністю в сучасних умовах використання інформації. Інвентаризація передбачає оцінку загальної площі, зайнятої елементами зеленого господарства, включно з деревами, чагарниками, квітниками, газонами, стежками й іншими складовими. Вона визначає кількість дерев і чагарників залежно від їхнього виду, породи, віку, діаметра стовбурів на висоті 1,3 метра, та оцінку їхнього санітарного стану. Під час інвентаризації проводиться розрахунок вартості всього об'єкта, окремих його частин, а також актуалізується інформація в паспортах і консолідованих даних щодо зелених насаджень у населених пунктах відповідно до змін, які сталися.

Отже, до інформаційної системи бази даних про зелені насадження треба додати ще вартість тих, що не були вказані в попередніх нормативних актах. Також потрібно вказати вид насаджень (рядова чи групова посадка, діаметр стовбура, надати дані про наявність живоплоту, клумб квітів), відповідно до їхньої характеристики.

Повноцінною інформацією про об'єкти й території зеленого господарства буде збирання відомостей про наявні будівлі, водойми, лавки, канави, опори електричних, телефонних і радіомереж, оглядові колодязі інженерних мереж, стаціонарні водополивальні мережі й інші елементи великомасштабних топографічних планів.

Щоб оцінити якісний стан дерева потрібно залучити фахівця чи фахівчиню та відповідно передбачити в процесі формування інформаційної бази даних можливість внесення показників про стан дерева (добрий, задовільний, незадовільний) та класи якості стану лісопаркових насаджень (1-й, 2-й, 3-й класи).

У процесі дослідження було проаналізовано «Класифікатор інформації, яка відображається на топографічних планах масштабів 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500» [28], затверджений у 2000 році. Документ встановлює систему кодування об'єктів місцевості, включаючи зелені насадження, що створює передумови для їх формалізованого обліку на топографічних планах та в геоінформаційних системах. Позитивним аспектом є наявність груп кодування для окремих елементів рослинності з різним рівнем деталізації, що може використовуватися

для інвентаризації зелених насаджень. Водночас аналіз показав, що класифікатор має ряд обмежень: він не враховує сучасні методи збору даних (лазерне сканування, дистанційне зондування), не передбачає збору детальних характеристик окремих дерев, не інтегрується з вимогами до атрибутивного опису об'єктів та недостатньо охоплює особливості урбаністичного озеленення, не все кодування присутнє.

Відповідно до представленої вище інформації можна стверджувати, що для наповнення бази даних щодо зелених насаджень для кадастру й містобудівної інформації можна використовувати різні джерела та методи. На рис. 2.3 представлено перелік джерел і методів, які поряд із проведенням класичної інвентаризації слугують повноцінним і правомірним джерелом додаткової інформації.

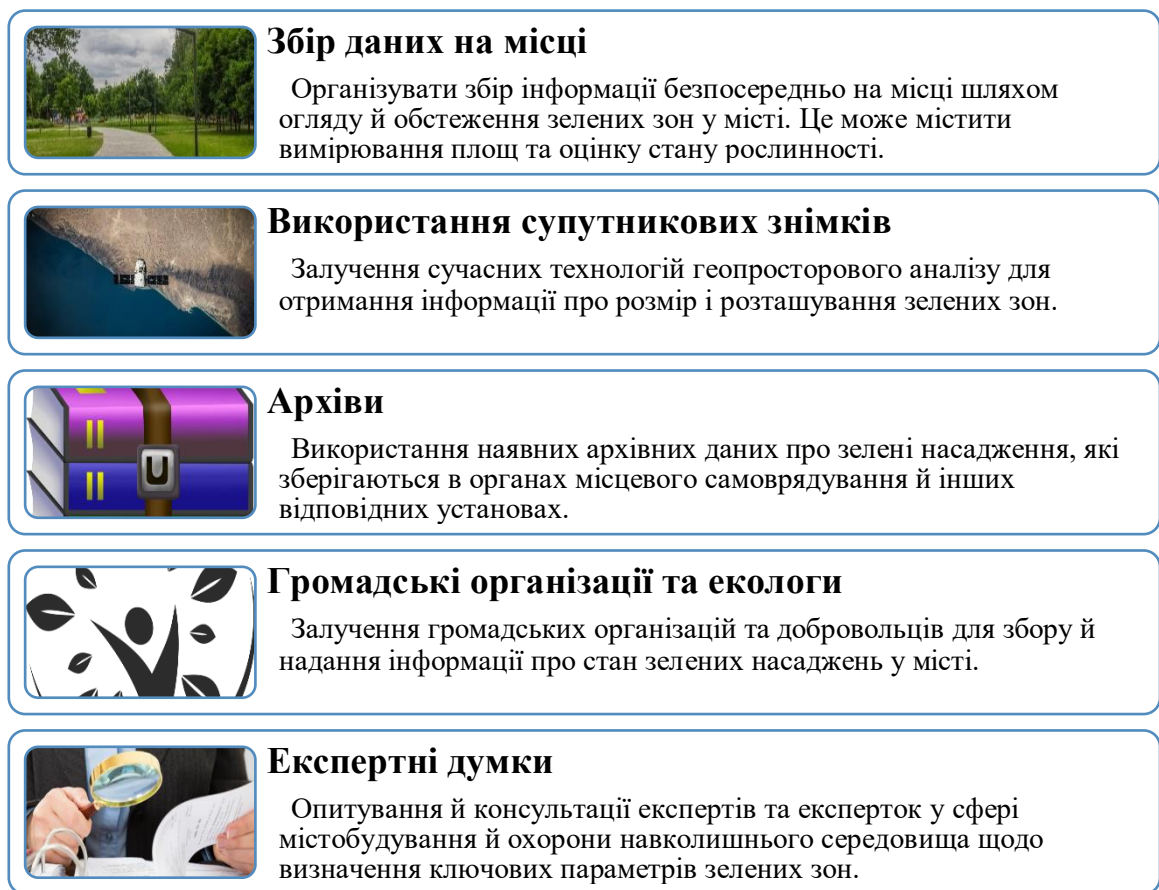


Рис. 2.3. Перелік джерел та методів отримання додаткової інформації

Джерело: систематизовано автором

Запропоновані методи потрібно поєднувати для отримання максимально повної й точної інформації про зелені насадження в місті.

Після завершення збору необхідної інформації формується відповідна геоінформаційна база, у якій координати розташування рослин поєднуються з атрибутивною інформацією про їхні видові характеристики, стан здоров'я й основні параметри таксації разом із запропонованими заходами для поліпшення стану кожного конкретного дерева й куща.

Для майбутнього використання даних, опрацювання й моделювання, доповнення цієї бази потрібно мати набір векторних точкових символів та актуальну растрову основу. Це розширює можливості для автоматизованої обробки даних у різних геоінформаційних системах, підготовки необхідної документації (картографічні матеріали, паспорти й реєстри зелених насаджень), зберігання й імпорту у форматах, що доступні для загального використання.

Наведений принцип зіставний з основним положенням Інструкції [38] та іншими нормативними актами [20, 22, 46, 68, 70], які встановлюють, що інформацію про стан зелених насаджень треба зберігати у формі окремих паспортів об'єктів ЗН, у вигляді списків, картографічного матеріалу, сформованих реєстрів зелених насаджень та супутніх об'єктів благоустрою в паперовому вигляді, який зазвичай дублюється цифровою версією. Одночасно у форматі «цифрового» зберігання даних зазвичай використовується символна інформація, яка певним чином імпортована переважно у вигляді текстових табличних даних, що при належному структуруванні, відповідній нумерації й шифруванні мають можливість повноцінної інтеграції з картографічними матеріалами. Відповідне структурування передбачає дотримання певних правил і норм не тільки в процесі збору даних і зберігання матеріалів інвентаризації зелених насаджень, але й у процесі опрацювання й інтерпретації одержаної інформації.

Наразі в Україні реєстр зелених насаджень у більшості середніх і малих населених пунктах ведеться виключно в паперовому вигляді. У великих містах простежується тенденція створення окремих онлайн-порталів, які візуалізують просторове розташування й надають окремі відомості про ЗН з урахуванням окремих положень Інструкції [17].

Земельно-кадастрові системи повинні являти собою земельно-інформаційні

системи, орієнтовані на самоокупність і роботу в цифровому середовищі. Кадастр майбутнього повинен являти собою не кадастр земельних ділянок, а земельних об'єктів. Земельно-інформаційні системи повинні відповідати принципам незалежного правового формування інформаційних шарів [36].

Зважаючи на досвід ведення й регулювання інших загальнодержавних і галузевих кадастрів й установлену практику, не доцільно прив'язувати ведення окремих систем обліку до певних програмних засобів, а необхідно вдосконалити й уніфікувати вимоги та правила збору, зберігання й використання інформації про ЗН. Водночас необхідно забезпечити вільні можливості користувачкам і користувачам застосовувати різне програмне забезпечення, що породжує пошук оптимальних показників продуктивності наповнення баз даних необхідними відомостями. Використовуючи різні програми, збираючи різну інформацію, користувачі можуть зіткнутися з такими проблемами, як: складність інтеграції накопичених даних в інші наявні кадастри, проєктну містобудівну документацію, окремі наукові дослідження чи в майбутню систему просторового планування; відсутність можливостей програми для звернення до уніфікованих класифікаторів і необхідність апелювати до різноманітних наукових, методичних вказівок залежно від робіт місцевого чи регіонального значення.

Наведений стан формування інформаційних баз кадастру для зелених насаджень у частині методів і стандартів, що використовуються, свідчить про актуальність дослідження й необхідність їхньої систематизації, вдосконалення й нормативного регулювання з метою накопичення вичерпного переліку інформаційних пунктів до геоінформаційної бази даних.

На рис. 2.4 представлено інформаційну схему бази даних із урахуванням чинних нормативних актів і власних практичних досліджень. Запропонована організаційна структура інформаційної бази даних разом із визначеною Законом [24], картографічною основою з дотриманням відповідних вимог відкриває широкий спектр можливостей поширення відомостей нормативної якості, в тому числі інтегрувати з наявними сьогодні «онлайн-картами», доповнювати власні електронні карти з використанням як загальнодоступних, так і спеціалізованих додатків.



Запропонована база даних разом із картографічною основою відповідного масштабу дозволяє створювати електронну карту об'єктів благоустрою (зеленого господарства) та візуалізувати її за допомогою доступних вебресурсів для звичайних користувачів і користувачок.

Розроблена база даних на основі результатів інвентаризації ЗН та архівних відомостей може слугувати прикладом ефективного використання актуальної інформації в процесі планування й моніторингу. Наведена схема на рис. 2.4 систематизує процес отримання й обробки даних про ЗН, а також пристосовує їх до потреб користувачів (замовників) та надає можливість їхній інтеграції в інші реєстри різної складності й інформативності.

Забезпечуючи структурованість інформаційної бази даних у поширених форматах, ми можемо обробляти цю інформацію як самостійно, так і в спеціалізованих повноцінних ГІС [12, 57].

ГІС в роботі з цією базою даних допомагає провести фільтрацію, сортування, обчислення, систематизацію інформації залежно від поставлених вимог, що розширює можливості їхнього використання. Це також дозволяє автоматично розподіляти об'єкти на карті за різними критеріями, а саме: діаметр, стан, висота, потреба у догляді; також автоматизує аналіз таких даних, як: розрахунок площ, відстаней, побудова буферних зон тощо.

Отже, для забезпечення координації й ефективного управління ресурсами землі та природним середовищем в Україні стає необхідним створення загальнонаціональної бази даних у формі державної автоматизованої інформаційної системи. Вона має взаємодіяти з базами даних земельного, містобудівного, водного, лісового й інших кадастрів для комплексного аналізу й управління різними аспектами природокористування та територіального планування. Такий інтегрований підхід дозволить забезпечити більшу точність і доступність інформації для ухвалення управлінських рішень на рівні держави, регіонів і місцевих громад.

Інформаційна база даних має реалізовувати такі принципи, що забезпечують її ефективність і доступність [22, 24, 38, 70]:

- інтеграцію вхідної інформації в спільне ГІС середовище;

- просторове й тематичне узгодження інформації всередині системи;
- забезпечення можливості обміну інформацією з іншими базами даних;
- логічність структури побудови моделі даних на основі їхньої систематизації за атрибутивними ознаками;
- досяжність інформації завдяки наявності відкритого доступу до неї;
- забезпечення можливості формування системи запитів;
- автоматизацію процесів оновлення, редагування й діагностики достовірності інформації в базі даних;
- гнучкість відповідно до зміни нормативно-правових і галузевих вимог [4];
- використання Державної геодезичної мережі й баз топографічних даних як єдиної геодезичної та картографічної основи згідно з вимогами Закону [24];
- використання уніфікованих систем координат і вимог до якості даних, їхніх складових, що забезпечить повноцінний обмін інформації відповідно до Порядку [49].

Впровадження такої автоматизованої системи сприятиме автоматичному виявленню територій, які потребують інвентаризації зелених насаджень й оновлення інформації. Це активізує балансоутримувачів, власників і користувачів щодо своєчасного проведення необхідних заходів та оновлення бази даних відповідними відомостями. Доступність до інформації щодо змін параметрів кожного об'єкта з часом дозволить проводити моніторинг їхнього стану та зробити відповідні висновки. Реалізація запропонованого наповнення бази даних допоможе систематизувати наявну інформацію й полегшить внесення нових даних щодо стану зелених насаджень у населених пунктах України. Забезпечення доступу громадськості до відкритої частини інформації реалізовуватиме право кожного громадянина й кожної громадянки на доступ до відомостей про стан зелених насаджень, підвищить інформованість мешканців та відвідувачок об'єктів благоустрою, а також сприятиме більш ефективним громадським обговоренням щодо проєктів благоустрою й озеленення.

Дослідження надає можливості реалізації окремих складових

запропонованої системи за допомогою наявного інструментарію, що частково вирішує поставлені завдання. Проте для повноцінної функціональності потрібно розробити новий програмний продукт або зробити розширення для дійсних геопорталів ТГ, що поєднує переваги зазначених підходів у єдину систему, відповідно до вищезгаданих принципів. Аналіз теоретичних і технологічних аспектів формування електронної системи для управління зеленими насадженнями населених пунктів України дозволив розглянути можливість формування такої системи, вивчити сучасні комп'ютерні технології й методи отримання інформації, розробити схему організаційної структури бази даних, а також визначити основні вимоги та принципи її роботи. На основі цього проведено аналіз і розроблено пропозиції щодо вдосконалення системи управління зеленими насадженнями для населених пунктів України.

Створення бази даних щодо зелених насаджень для містобудівного кадастру має свої переваги і недоліки (рис. 2.5).



Рис. 2.5. Переваги та недоліки створення бази даних про ЗН для містобудівного кадастру. *Джеорело: узагальнено автором*

До переваг належить: поліпшення управління міською зеленою інфраструктурою завдяки спрямуванню ресурсів у найбільш критичні зони; підвищення ефективності планування розвитку міських територій на основі актуальної інформації; покращення якості життя мешканців шляхом

забезпечення належного рівня екологічного середовища; сприяння збереженню природних ресурсів через аналіз і моніторинг стану зелених насаджень. Серед недоліків виділено: значні витрати на створення, обробку та підтримку бази даних; складність постійного оновлення інформації у зв'язку з динамічними змінами у зелених зонах; ризики, пов'язані із захистом персональних даних мешканців; необхідність залучення фахівців, які володіють спеціальними знаннями в галузі містобудування, геоінформатики та екології.

Загалом, незважаючи на можливі труднощі, створення бази даних про зелені насадження може бути цілком вигідним для територіальних громад, якщо врахувати її потенційні переваги для ефективного управління.

2.2. Систематизація підходу до виконання інвентаризації зелених насаджень

Інформація про об'єкти благоустрою населених пунктів є однією зі складових життєдіяльності територій, зокрема урбанізованих. Матеріали інвентаризації зелених насаджень є одними зі складових ведення різних кадастрів, зокрема великомасштабних топографічних зніманих. Класична інвентаризація зелених насаджень вимагає значного часу, а в частині випадків цей процес є дорогим чи неточним, як порівняти із сучасними способами наповнення інформацією різних кадастрів [12, 16, 52].

Інвентаризація зелених насаджень проводиться відповідно до Інструкції з технічної інвентаризації зелених насаджень [38] у містах та селищах міського типу України раз на п'ять років з квітня до жовтня й передбачає визначення загальної площі, зайнятої об'єктами зеленого господарства, зокрема деревами, чагарниками, квітниками, газонами, стежками тощо; визначення кількості дерев і чагарників за видами насаджень, породами, віком, діаметром на висоті 1,3 м, стовбурів дерев та стану їхнього утримання; визначення вартості об'єкта загалом і його окремих ділянок.

Основна мета інвентаризації зелених насаджень — це насамперед:

- збір достовірних даних про кількісні і якісні характеристики зелених

насаджень у межах населеного пункту;

- збільшення відповідальності за збереження зелених насаджень серед балансоутримувачів, власників і користувачів земельних ділянок, підприємств та організацій;
- сприяння створенню та формуванню високодекоративних та екологічно ефективних насаджень, які стійкі до негативних впливів навколишнього природного середовища;
- використання результатів інвентаризації під час розроблення програм розвитку зеленого господарства в населених пунктах;
- відновлення, реконструкція й експлуатація об'єктів зеленого господарства, а також проведення профілактичних і лікувальних заходів за необхідності;
- організація невиснажливого використання озелених територій;
- перевірка відповідності кількості зелених насаджень чинним будівельним і санітарним нормам.

Для отримання такої значної кількості інформації потрібно використовувати ряд технічних засобів, що мають можливість опрацювати велику кількість даних, які в наступному етапі можуть конвертуватися в кадастрові системи та геопортали територіальних громад для просторового планування.

Отже, для автоматизації та стандартизації процесу обліку ЗН перспективним є впровадження сучасної інформаційно-картографічної системи, аналогічної до тих, які реалізовано в провідних країнах Європи. Вона повинна бути доступною через вебсервіс і використовувати методи комп'ютерного моделювання, геоінформаційні технології й дані з дистанційного зондування Землі. Важливо, щоб система дозволяла вносити, коригувати, актуалізувати й отримувати біометричну, просторову й статистичну інформацію на основі регулярних інвентаризацій стану зелених насаджень у населених пунктах України. Такий підхід відповідає вимогам Закону «Про охорону навколишнього природного середовища», який передбачає створення й функціонування загальнодержавної екологічної автоматизованої інформаційно-аналітичної системи для забезпечення доступу до екологічної інформації та гарантує

громадянкам і громадянам екологічні права.

Оскільки інвентаризація ЗН у населених пунктах України є важливою для ефективного управління міським середовищем, забезпечення сталого розвитку та передумовою до створення якісного комплексного плану просторового розвитку, то цей процес повинен включати збір та аналіз інформації про різноманітні види рослинності, їхнє розміщення, стан та інші параметри.

Відповідно до вищесказаного, аналізу наукової літератури й нормативно-правового регулювання розроблена схема систематизованого підходу до виконання інвентаризації зелених насаджень із формуванням бази даних для наповнення та ведення різного роду кадастрів (рис. 2.6).

Відповідно до рис. 2.6 систематизований підхід до виконання й організації інвентаризації об'єктів благоустрою (зелених насаджень) населених пунктів передбачає ряд дій, які поєднують як органи місцевого самоврядування, так і приватні організації, наукові установи, а також можуть бути залучені міжнародні фонди й організації. Роботи з інвентаризації ОБ (об'єкти благоустрою) розпочинаються з визначення відповідного об'єкта та його значення для ТГ (територіальної громади) і регіону. Наступним етапом є виділення фінансування (бюджетні кошти, спонсори, гранти), після цього визначення виконавця, виконавиці робіт чи декількох шляхом безпосереднього підписання договору або через тендер. Розробляється технічне завдання, де вказуються об'єми робіт, складові, вимоги та бажаний результат. Виконавець / виконавиця визначає метод, який буде використовувати, чи поєднання декількох залежно від завдання й об'ємів робіт. Початок безпосереднього виконання справи полягає в зборі вихідної інформації й наявних даних. Для цього залучаються фахівчині / фахівці із різних спеціальностей (еколог / екологиня, дендролог / дендрологиня та інші).

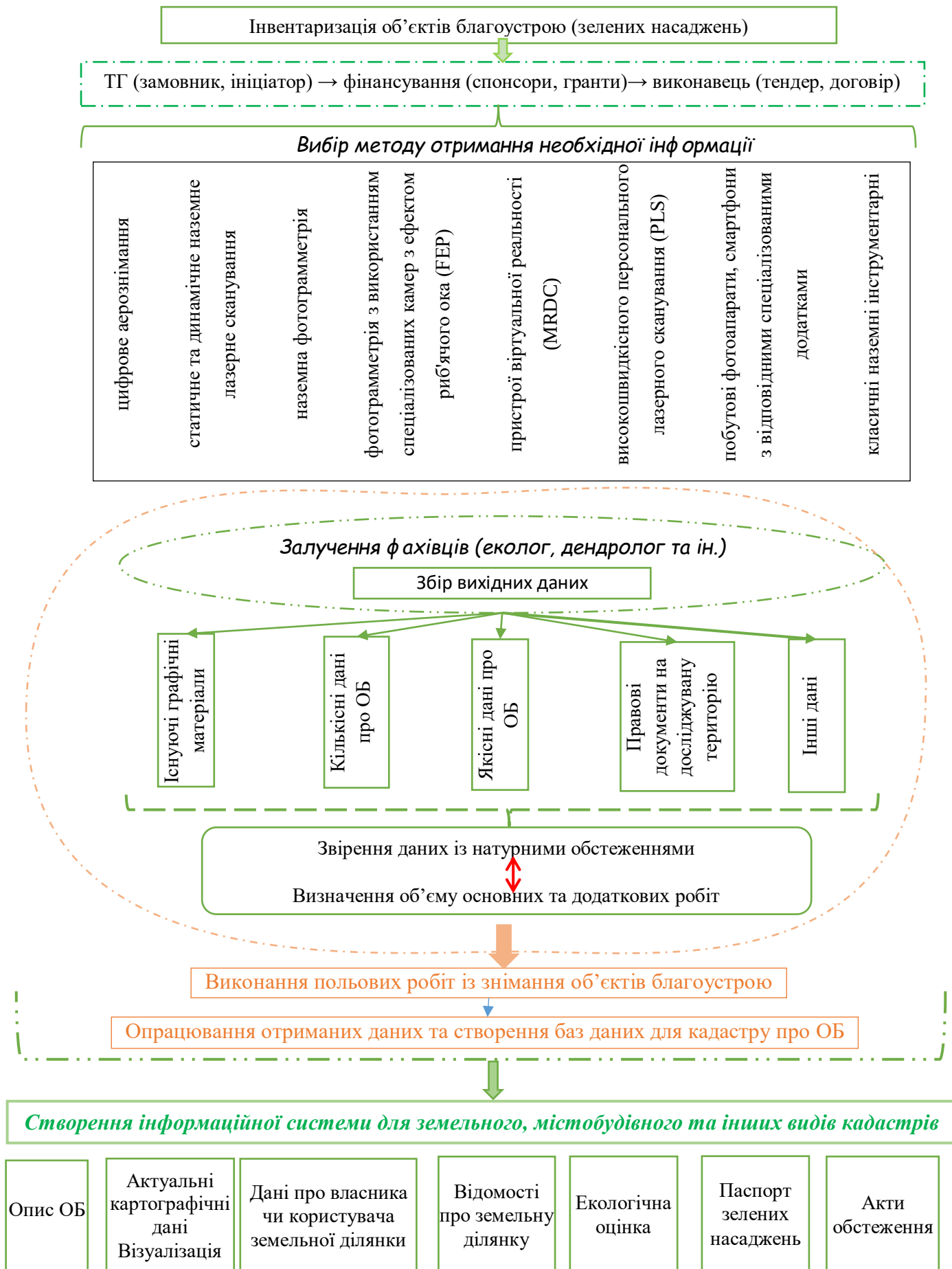


Рис. 2.6. Алгоритм систематизованого підходу до виконання ІЗН

Визначається об'єм безпосередніх польових робіт і звірення із натуробстасженням. Камеральні роботи є об'ємними й забирають значну частину часу з інвентаризації ОБ. Опрацювання польових вимірів і створення баз даних для потреб різних установ та організації виконується фахівчинями / фахівцями із ГІС технологій s землевпорядниками / землевпорядницями.

Важливим та актуальним у сучасних умовах є створення інформаційної системи ведення кадастрів, яка буде містити загальну описову інформацію про об'єкт, картографічний матеріал (топографічний план, ґрунтова карта, кадастровий план, план перспективного розвитку й збереження зелених насаджень), юридичні дані про розпорядника ОБ, землевласника / землевласницю чи користувачку / користувача, кадастрові дані про земельну ділянку, екологічну оцінку території, паспорт та акт обстеження зелених насаджень.

Основні аспекти інвентаризації зелених насаджень у населених пунктах України повинні містити таку інформацію: геодезичні дані; площі та об'єми; види й класифікації рослинності; оцінку стану рослин; виявлення можливих захворювань чи паразитів; визначення віку й загального здоров'я; визначення призначення кожного зеленого об'єкта, як-от: парк, сквер, алея, газон тощо; запис інформації про будь-які зміни в структурі або розміщенні зелених насаджень протягом часу; визначення осіб чи організацій, які відповідають за управління і власність зелених територій; встановлення унікальних ідентифікаторів для кожного об'єкта в системі кадастрового обліку.

Основне те, що отримані дані та сформована інформаційна структура можуть бути використані для ефективного управління й планування міських зелених зон, а також для вивчення екологічних і соціальних аспектів урбаністичного середовища. Вони часто стають основою для ухвалення рішень у розвиткові й збереженні міської природи.

2.3. Інтеграція даних лазерного сканування зелених насаджень у стратегічну екологічну оцінку просторового планування територій

У 2018 році набув чинності Закон України «Про стратегічну екологічну оцінку» [23], який дає визначення й поняття про стратегічну оцінку як основу для просторового планування території громад. Процедура СЕО для територіальних громад включає визначення, опис та оцінку впливу виконання державних планувальних документів, як-от містобудівна документація, на довкілля, а також на здоров'я населення. Це передбачає вивчення виправданих альтернатив, розробку заходів для запобігання, зменшення й пом'якшення можливих негативних наслідків від запланованих дій або проєктів. Оцінювання наслідків дозволяє виявити й вирішити проблеми, які можуть виникнути в результаті планування й забудови, і врахувати вплив на екосистеми, зелені зони та якість повітря. Здоров'я населення є пріоритетом, тому заходи щодо зменшення шкідливих впливів можуть охоплювати як екологічні, так і соціальні аспекти.

У зв'язку з необхідністю уточнення положень Закону [23] та для його практичного застосування були розроблені методичні рекомендації, затверджені наказом Міністерства екології та природних ресурсів України «Про затвердження Методичних рекомендацій із здійснення стратегічної екологічної оцінки документів державного планування» [69]. Відповідно до цих рекомендацій СЕО є частиною процесу розроблення проєкту документів державного планування (ДДП).

Якщо розглядати територіальну громаду як початкову структурну одиницю для виконання цілей із сталого розвитку України на період до 2030 року [84], серед яких є 17 основних відповідно до резолюції Генеральної Асамблеї Організації Об'єднаних Націй від 25 вересня 2015 року № 70/1 «Глобальні цілі сталого розвитку до 2030 року», то кожна громада — це цінний територіальний капітал, який поєднує унікальні природні ресурси, людський потенціал, культурну спадщину й соціальні зв'язки. Стратегічна екологічна оцінка (СЕО) допомагає максимально ефективно використовувати цей капітал, забезпечуючи

обґрунтоване планування та сталий розвиток [67, 69, 90, 91].

СЕО дозволяє підготувати екологічно свідомі управлінські рішення, які враховують баланс між економічним розвитком і збереженням природних ресурсів. Вона сприяє ощадливому використанню природних ресурсів, знижуючи негативний вплив на довкілля [32, 67, 69, 90, 91]. Крім того, СЕО допомагає громадам розвиватися, зважаючи на їхню культурну й соціальну специфіку, зміцнюючи соціальні зв'язки та враховуючи потреби місцевих жителів.

Завдяки стратегічній екологічній оцінці громади можуть ухвалювати рішення, що призводять до сталого розвитку, використовуючи свій територіальний капітал на користь як нинішнього, так і майбутнього поколінь. Це дозволяє зміцнити соціально-економічну основу громад, зберігати їхній унікальний характер і захищати довкілля.

Відповідно до Цілей сталого розвитку України на період до 2030 року [84], українське суспільство стикається з низкою викликів, які пов'язані з діями органів місцевого самоврядування та якістю запропонованих ними можливих рішень.

Досягнення цих цілей залежить від багатьох факторів, включно з ефективним використанням інформації про зелені насадження й розробку стійких підходів до міського планування й розвитку.

На рис. 2.7 представлені ключові цілі сталого розвитку й підкреслено, наскільки важливо мати якісну інформацію про зелені насадження для ухвалення обґрунтованих рішень науковцями / науковицями та органами місцевого самоврядування.

Що більше інформації про зелені насадження, то точніше можна оцінити їхній екологічний вплив, що дозволяє більш усвідомлено керувати міським простором, що є основою для СЕО [84].



Рис. 2.7. Важливість лазерного сканування зелених насаджень у реалізації цілей сталого розвитку України на період до 2030 року.

Джерело: ситематизовано автором

Лазерне наземне сканування — це технологія, яка дозволяє отримувати докладні дані про структуру, розташування й стан зелених насаджень. Використання цих даних допомагає визначити важливі аспекти, як-от біомасу, вік дерев, їхню висоту й обсяг, а також оцінити їхню роль у боротьбі зі зміною клімату. Точність цих даних є критичною, оскільки вона дозволяє ухвалювати рішення, які відповідають Цілям сталого розвитку.

Завдяки лазерному скануванню органи місцевого самоврядування можуть створювати більш ефективні плани з озеленення міст, розробляти стратегії збереження біорізноманіття, а також впроваджувати раціональні моделі споживання й виробництва. Усе це сприяє сталому розвитку громад, забезпечуючи збалансоване поєднання міської інфраструктури та зелених зон.

Отже, якість і точність інформації, отриманої за допомогою лазерного сканування, безпосередньо впливають на ефективність рішень, що сприяють досягненню цілей сталого розвитку України.

Для підготовки якісного Звіту використовуються дані, зібрані під час створення містобудівної документації, статистична інформація, звіти про стан довкілля, відкриті наукові літературні джерела та інтернет-ресурси. За необхідності можуть бути заплановані додаткові польові обстеження території, а також інструментальні або лабораторні дослідження [78, 83, 90, 138, 148].

Розробка стратегічної екологічної оцінки (CEO) базується на кількох методологічних підходах, зокрема на методах аналогій, експертних висновках, порівняннях, прогнозах, SWOT-аналізі та картографічних методах.

Геоінформаційні технології є основою для розроблення звіту зі стратегічної екологічної оцінки (CEO), врахування особливостей природних умов, сучасного екологічного стану й планувальних рішень [67, 91]. Вони використовуються для поєднання й комплексного аналізу різних геопросторових даних, включно з відкритими космічними знімками. Застосування геоінформаційних систем під час організації просторових даних дає можливість повноцінно й комплексно враховувати всі можливі варіанти впливу проєктних рішень на майбутній стан території, що планується.

Звіт із CEO має відповідні вимоги до складу даних [23, 64, 90] та складається

з 11 розділів, серед яких є два, що безпосередньо цікаві для наших досліджень, адже їхнє наповнення залежить від отриманих даних про територію громади чи досліджуваного об'єкта, а саме:

Розділ 2. Опис поточного стану довкілля, включно зі здоров'ям населення, а також прогностні зміни цього стану, якщо комплексний план не буде затверджено [67, 91]. Ця інформація ґрунтується на адміністративних даних, статистиці й результатах різних досліджень.

Розділ 3. Характеристика стану довкілля, умов життєдіяльності та здоров'я населення в регіонах, які ймовірно зазнають впливу [67, 91]. Він також містить дані з адміністративних джерел, статистики та результатів проведених досліджень.

Відомості для цих розділів можна отримати різними шляхами, один із яких НЛС. Від повноти отриманої інформації залежить написання 4, 6, 7, 8 та 9 розділів, які вже несуть у собі висновки та рекомендації, заходи для запобігання, зменшення й пом'якшення негативних наслідків.

Основою робіт із розроблення стратегічної екологічної оцінки (СЕО) є збір вихідних даних про природні умови, включно з якістю повітря й кліматичними характеристиками, поверхневими та підземними водами, ґрунтовим покривом, флорою і фауною, а також загальною інформацією про ландшафти як комплексні системи. Важливі також дані про поточне землекористування й соціально-економічні особливості території. Загальний список вихідних даних для всіх компонентів, які підлягають оцінці, наводиться в Додатку 2 [90]. У цілому можна визначити такі основні джерела отримання інформації, як [90]:

- картографічні й описові матеріали, зібрані в різних відомствах та установах;
- дані ДЗЗ, зокрема відкриті космічні знімки, а також лідарна й радарна зйомка та зйомка за допомогою безпілотних літальних апаратів (БПЛА) [51]. За ступенем деталізації ці матеріали підходять для використання в планувальних роботах на рівні територіальних громад.

- сучасні матеріали картографічної основи території, які необхідно отримати перед початком розробки комплексного плану. Ці матеріали зазвичай представлені в цифровому ГІС-форматі й придатні для оцінки території.

Більшість матеріалів, включно з картографічними, як і раніше зберігається в аналоговому форматі (паперовому або сканованому), що не відповідає сучасним вимогам оперативного й ефективного управління. Складність планувальних завдань і зростаючі вимоги до міждисциплінарного підходу в процесі стратегічної екологічної оцінки вимагають певних технологічних інновацій. Одним із таких сучасних інноваційних інструментів є ГІС. ГІС-технології дозволяють підготувати, узгодити й організувати просторові дані, забезпечуючи можливості для подальшого аналізу й оцінки. Це підкреслює важливість даних, отриманих НЛС, для розробки СЕО та майбутнього комплексного плану.

Важливими вихідними даними є інформація про види й біотопи, тобто отримання розширених показників про види флори та фауни певної території. Відсканувавши місцевість та опрацювавши дані, ми можемо визначити рівень біорізноманіття і рівень впливу людини на біотопи, а також їхній санітарний стан. Така класифікація дає можливість надати характеристику біотопам громади й визначити їхнє майбутнє використання чи консервування, з метою збереження.

Відповідно до інформації та рекомендацій [83, 90] є три значення визначення критерію за рівнем біорізноманіття:

- висока цінність: біотопи, де умови довкілля максимально наближені до природних, тобто таких, які існували б без впливу людини і які відрізняються великим видовим різноманіттям;
- середня цінність: біотопи, де умови довкілля дещо змінені, але все ще сприятливі для зростання чи мешкання багатьох видів рослин і тварин; до таких біотопів відносяться, наприклад, монокультурні лісові масиви, лісосмуги;
- низька цінність: біотопи, де умови довкілля зазнали значних змін, що

призвело до суттєвого зниження рівня біорізноманіття порівняно з природними біотопами; прикладами таких біотопів є орні землі, біотопи в межах населених пунктів та інші подібні території, парки, сквери.

Окрім оцінки цінності видів та біотопів для збереження біорізноманіття, також враховують їхню чутливість до зовнішніх впливів. Коли проводиться оцінка чутливості видів та біотопів, то першочергово необхідно оцінити їхню загальну стійкість. Це також можливо за накопиченням даних. У рекомендаціях є присутні такі критерії [83, 90]:

- висока чутливість: біотопи, які сильно фрагментовані, у яких деякі види можуть зникнути через відсутність умов для повторного розселення, де переважає одна культура, де умови значно відрізняються від оптимальних;
- середня чутливість: біотопи, у яких склад і структура біоценозів можуть відновитися коштом мігрантів чи імпорту насіннєвого матеріалу;
- низька чутливість: біотопи з видовим складом і структурою, близькими до природних; з оптимальними умовами для зростання; з мінімальними передумовами до негативного впливу антропогенного фактора.

Важливим під час формування СЕО є інформація про ландшафт. Відповідно до Європейської ландшафтної конвенції (2005) [42], мають бути рекомендації й заходи для збереження та підтримки ключових або характерних рис ландшафту, які визначаються його цінністю, зумовленою природною конфігурацією та / або діяльністю людей. Тут на перший план виходять естетична цінність, різноманіття й унікальність ландшафтів, які є частиною культурної та природної спадщини, формують основу ідентичності та значною мірою впливають на якість життя [78, 138].

Лазерне сканування відіграє ключову роль у збереженні цих рис, оскільки дозволяє створювати високоточні тривимірні моделі ландшафтів. Завдяки йому можна детально досліджувати конфігурацію ландшафтів, відстежувати їхні

зміни та виявляти ділянки, які потребують особливої уваги або відновлення. Це стає важливим інструментом для впровадження заходів щодо збереження й підтримки ландшафтів.

НЛС дозволяє збирати дані, необхідні для визначення естетичної цінності, різноманіття і своєрідності ландшафтів, а також для планування дій з їхнього захисту. Ці відомості можуть використовуватися для аналізу, моніторингу й моделювання змін, що допомагає вжити своєчасних заходів для збереження унікальних характеристик ландшафтів, які є частиною культурної та природної спадщини.

Завдяки цьому технологічному підходу органи місцевого самоврядування, урбаністи та екологи отримують точну інформацію, яка допомагає в збереженні й підтримці важливих ландшафтних елементів, що сприяє сталому розвитку, збереженню ідентичності місцевості й покращенню якості життя мешканців.

Оцінювання ландшафту може здійснюватися за різними критеріями, що вимагає різної інформації [10, 33, 78, 151, 134, 138]. Проте для потреб розроблення СЕО визначено такі два значення, як:

1. значення ландшафтів для відпочинку, що передбачає отримання естетичних вражень від перебування на природі; сюди входять зелений туризм, екотуризм, планування прогулянкових маршрутів, а також відвідування об'єктів історико-культурної та природної спадщини;
2. важливість образу ландшафту для підтримки місцевої або регіональної ідентичності.

Ефективним методом оцінки образу ландшафтів є підхід, заснований на аналізі просторових структур. Його суть полягає у виділенні та аналізі окремих просторів, які характеризуються однорідним поєднанням природних і створених людиною елементів, а також територій, які мають культурні чи історичні асоціації [10, 29]. Лазерне сканування ландшафтів дає деталізації цьому процесові.

Такий підхід дозволяє створювати високоточні тривимірні моделі ландшафтів, що є основою для визначення й аналізу різних просторів. Ці тривимірні дані надають детальну інформацію про структуру ландшафтів, їхні

фізичні характеристики й різноманітність елементів, що допомагає виділити операційні одиниці для оцінювання.

Карти ландшафтних територіальних структур, створені за допомогою даних лазерного сканування, стають ключовим інструментом для оцінки образу ландшафтів. Вони допомагають у виявленні унікальних просторів, підтримуючи багатогранний підхід до збереження природної та культурної спадщини.

Отже, поєднання методичного аналізу просторів і лазерного сканування дозволяє отримати більш точну й комплексну картину ландшафтів. Це сприяє ухваленню обґрунтованих рішень щодо їхнього збереження, використання й розвитку, забезпечує баланс між природними, історичними й культурними аспектами.

Не всі фактори мають однакову вагу, значно важливішими є такі характеристики, як: збереженість ландшафтів або їхня відповідність природному стану (наприклад, ліси з природною рослинністю), значне різноманіття лісової та / або лучної рослинності, а також розчленований рельєф. Елементи ландшафту, створені людиною (сади, лісосмуги, ставки), вважаються менш значущими.

Лазерне сканування дозволяє отримувати детальні дані про ці характеристики, що допомагає краще розуміти їхній вплив на оцінку ландшафтів. Завдяки тривимірному моделюванню можна точніше визначити збереженість лісів, різноманітність рослинності та особливості рельєфу, які відіграють ключову роль у сприйнятті ландшафту.

Під час оцінювання впливу на сприйняття та привабливості ландшафтів також важливим є фактор «сусідства» — наскільки захопливі прилеглі простори, і чи є можливості для панорамного огляду місцевості. Лазерне сканування допомагає визначити, які сусідні території впливають на естетичну цінність ландшафту, і чи існують перешкоди для панорамного огляду.

Необхідно також враховувати елементи як природного, так і антропогенного походження, які можуть негативно впливати на візуальне сприйняття ландшафту [78, 90, 138]. Прикладами таких негативних елементів є лінії електропередач, промислові будівлі, вітрові й сонячні електростанції, а

також джерела й наслідки різних видів забруднення (шумове, хімічне, електромагнітне, біологічне). Лазерне сканування дозволяє точніше виявити ці елементи та їхній вплив на ландшафт, що допомагає розробити стратегії щодо їхнього мінімізації.

Стратегічна екологічна оцінка (СЕО) не завершується з ухваленням документа державного планування (ДДП) [67, 69, 91]. Необхідно продовжувати моніторинг, щоб відстежувати значущі наслідки для довкілля й здоров'я населення під час реалізації ДДП, особливо в контексті зелених насаджень. Це дозволяє виявити несподівані негативні наслідки й вжити таких заходів для їхнього усунення, як: відновлення або висадка нових дерев. Результати моніторингу мають бути надані природоохоронним органам, органам охорони здоров'я й громадськості.

Лазерне сканування зелених насаджень є важливим інструментом у цьому процесі, оскільки надає високоточні дані для моніторингу, які можуть використовуватися для:

- порівняння очікуваних і фактичних наслідків, що дозволяє оцінити вплив ДДП на парки, сквери та інші зелені насадження;
- отримання інформації, яка може сприяти покращенню майбутніх екологічних оцінок і допомагає контролювати якість СЕО;
- перевірки дотримання екологічних вимог, встановлених регуляторними органами, особливо у відношенні до зелених насаджень;
- перевірки того, що ДДП реалізується відповідно до плану, включно із заходами із запобігання, скорочення або пом'якшення несприятливих наслідків для зелених зон.

Організація моніторингу вимагає ретельного визначення відповідальності та обов'язків: хто здійснює моніторинг, хто надає доступ до результатів, яка інформація підлягає моніторингу, які дані мають бути оприлюднені (безпосередні вимірювання або їхній аналіз), де та як часто потрібно проводити моніторинг, коли варто публікувати результати, а також які методи треба використовувати для моніторингу й поширення інформації [46, 51, 63, 70, 77, 95].

Важливо, щоб результати моніторингу були доступні на геопорталах

територіальних громад, щоб забезпечити прозорість і доступність інформації для громадськості й відповідних органів. Лазерне сканування може слугувати початковою базою для наповнення цих геопорталів, забезпечуючи високоточні дані про просторові й екологічні характеристики території. Ці відомості можуть використовуватися для створення інтерактивних карт і баз даних на геопорталах територіальних громад, що дозволяє легко відслідковувати зміни та забезпечувати інформування громадськості.

Такі портали можуть використовуватися для публікації результатів моніторингу, планування екологічних заходів, забезпечення прозорості в управлінні природними ресурсами, а також для залучення громадськості до обговорення й ухвалення рішень. Лазерне сканування допомагає забезпечити точність і якість інформації, яка стає основою для цих геопорталів, сприяючи ефективному моніторингу й сталому розвитку територіальних громад.

Інтеграція даних лазерного сканування зелених насаджень у стратегічну екологічну оцінку (CEO) для просторового планування території є критично важливою для екологічно орієнтованого розвитку міських і приміських районів. Лазерне сканування, також відоме як LiDAR (Light Detection and Ranging), дозволяє отримувати високоточні тривимірні дані про зелені насадження, що дає змогу використовувати ці результати в стратегічному плануванні з метою забезпечення сталого розвитку.

На рис. 2.8 представлено розроблений алгоритм інтеграції даних про зелені насадження, отриманих НЛС, у стратегічну екологічну оцінку.

Основна мета й завдання інтеграції даних лазерного сканування в CEO:

1. Лазерне сканування дозволяє отримувати дані про структуру, розташування, розмір і стан зелених насаджень, забезпечуючи точний облік міських лісів, парків, скверів та інших зелених зон. Це стає основою для стратегічної екологічної оцінки.
2. Дані лазерного сканування допомагають визначити вплив різних планувальних рішень на зелені насадження. Стратегічна екологічна оцінка використовує ці відомості для прогнозування впливу міської інфраструктури, забудови, транспортних шляхів та інших елементів

на зелені зони.

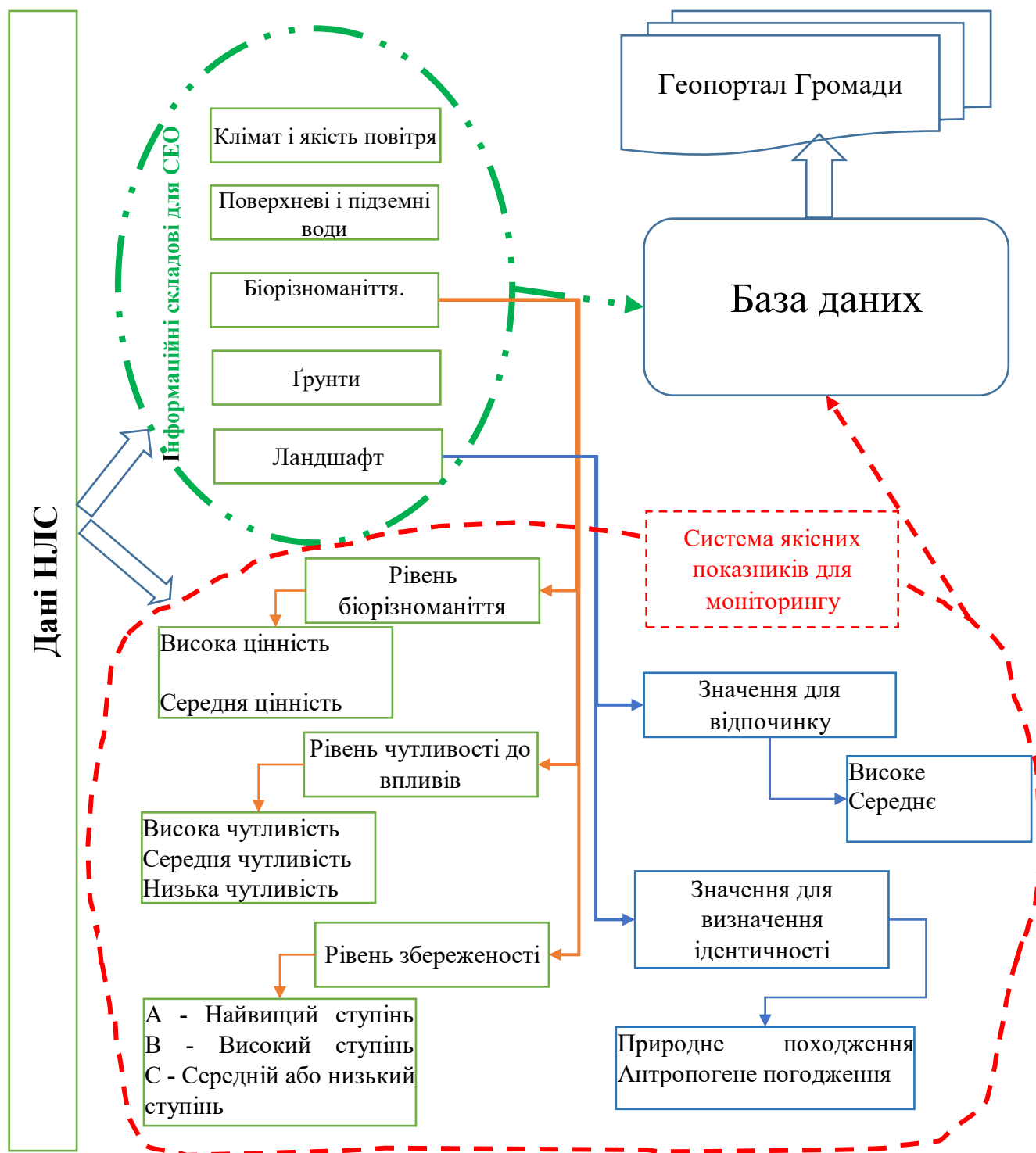


Рис. 2.8. Інтеграція даних, отриманих НЛС в SEO

Джеорело: розроблено автором

- Інтеграція даних про зелені насадження в SEO допомагає забезпечити екологічний баланс у процесі просторового планування. Це й збереження біорізноманіття, і контроль за викидами

вуглекислого газу, і підтримка якості повітря.

4. Результати лазерного сканування використовують для моделювання й візуалізації зелених зон, що сприяє кращому плануванню міських територій. Це допомагає органам місцевого самоврядування ухвалювати обґрунтовані рішення щодо збереження та розвитку зелених насаджень.
5. Інтеграція відомостей про зелені насадження в СЕО дозволяє враховувати інтереси громадськості, оскільки зелені зони мають велике значення для якості життя, рекреації й здоров'я мешканців / мешканок. Це сприяє залученню громадськості до процесу просторового планування.

Інтеграція даних лазерного сканування зелених насаджень у стратегічну екологічну оцінку (СЕО) забезпечує комплексний підхід до просторового планування, дозволяючи врахувати широкий спектр екологічних, соціальних та економічних аспектів у процесі розвитку територій. Це сприяє створенню стійких міських середовищ і збереженню природних ресурсів. Вся ця інформація буде зберігатися в геоінформаційній системі (ГІС) й буде доступною для загального огляду на геопорталі територіальної громади.

Одним із ключових компонентів СЕО є аналіз клімату і якості повітря. Лазерне сканування допомагає визначити рівень озеленення території, що впливає на якість повітря й температуру у міських районах. Результати, отримані з лазерного сканування, будуть зберігатися в ГІС і стануть доступними на геопорталі, що дозволить громаді стежити за змінами та вживати відповідних заходів.

Поверхневі й підземні води також мають важливе значення в СЕО. Лазерне сканування допомагає ідентифікувати зелені насадження, що сприяють збереженню водних ресурсів. Вся інформація про водні ресурси та їхній зв'язок із зеленими насадженнями буде доступна на геопорталі територіальної громади.

Біорізноманіття й види біотопів є ще одним критичним елементом СЕО [67,83,90]. Лазерне сканування дозволяє детально вивчити різноманітність флори й фауни, що допомагає в збереженні рідкісних видів і біотопів. Ці дані

також будуть частиною ГІС, забезпечуючи доступ до інформації для громади та екологічних експерток / експертів.

Ґрунти — інший важливий аспект, який аналізується за допомогою лазерного сканування. Оцінка ґрунтів допомагає визначити їхню родючість і стійкість, а отримана інформація стане частиною загальнодоступної бази даних на геопорталі.

Ландшафт як сукупність різних елементів може бути детально проаналізований за допомогою лазерного сканування. Така інформація допомагає в плануванні розвитку територій, зберігаючи природну красу й екологічну стійкість. Інформація про ландшафт також буде доступна в ГІС та на геопорталі громади.

Завдяки інтеграції даних лазерного сканування в ГІС та забезпеченню загального доступу через геопортали територіальних громад органи місцевого самоврядування й громадськість можуть ухвалювати обґрунтовані рішення для сталого розвитку, збереження природних ресурсів і підвищення якості життя.

Висновок до другого розділу

1. Обґрунтовано інформаційне наповнення баз даних кадастру базового рівня інформацією про зелені насадження об'єктів благоустрою територіальних громад.

2. Проаналізовано інформаційне забезпечення земельного, містобудівного, природно-заповідного кадастрів. Підкреслено важливість єдиного стандарту до формування бази даних про зелені насадження.

3. Систематизовано перелік необхідної інформації про зелені насадження для формування інформаційної системи. Досліджено каталоги даних різних об'єктів зеленого господарства. Обґрунтовано ідентифікацію груп видів об'єктів зелених насаджень. Проаналізовано ідентифікацію об'єктів через опис відповідних атрибутів і їхніх значень.

4. Розроблено методологію організаційної структури інформаційного наповнення бази даних про зелені насадження на території населених пунктів і територіальних громад.

5. Запропоновано ряд принципів, які забезпечують ефективність і доступність інформаційної бази даних про зелені насадження.

6. Розроблено алгоритм систематизованого підходу до виконання інвентаризації зелених насаджень на основі проведеного дослідження.

7. Розроблено та обґрунтовано алгоритм інтеграції відомостей про зелені насадження, отриманих НЛС, у стратегічну екологічну оцінку територіальної громади.

РОЗДІЛ 3

ОСОБЛИВОСТІ ІНВЕНТАРИЗАЦІЇ ЗЕЛЕНИХ НАСАДЖЕНЬ АВТОМАТИЗОВАНИМИ МЕТОДАМИ НАЗЕМНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНУВАННЯ

3.1. Геодезичне забезпечення процесу сканування

Наземне лазерне сканування — це процес використання лазерних пристроїв для створення точних тривимірних моделей поверхні землі або будь-яких інших її об'єктів. Процес полягає у відбитті лазерного променя від поверхні предмета й аналізі відображеного сигналу, що дозволяє отримати точну інформацію про рельєф і форму сканованого об'єкта [76].

Лазерні сканувальні системи знаходять широке застосування в різних сферах, а саме:

1. Знімання споруд, які мають таку інфраструктуру, як: заводські території, електропідстанції, об'єкти видобування й транспортування вуглеводнів.
2. Великомасштабне топонімання.
3. Виконавче знімання ділянок промислових споруд, що підлягають реконструкції, для подальшого передавання даних у САПР у тривимірному вигляді.
4. Містобудівний кадастр.
5. Реконструкція й будівництво, включно з архітектурним обмірюванням установ та авторським наглядом за реалізацією проєктів.
6. Створення сцен віртуальної реальності для додатків тривимірного моделювання.
7. Реставрація будівель та археологічних пам'яток.
8. Знімання тунелів, моніторинг будинків і споруд, побудованих у сейсмічно небезпечних районах, а також у зсувних ділянках гірської місцевості [9].

Наземний лазерний сканер (НЛС) є комплексним пристроєм, який

призначений для визначення відстаней до перешкод шляхом використання лазерної технології. Він складається з таких основних структурних елементів, як: далекомірний блок, оптико-механічний блок розгортки й каналу передачі даних на керівний комп'ютер. Опишемо кожен із них.

1. Далекомірний блок

Цей блок забезпечує вимірювання відстаней до перешкод, що розташовані на шляху пристрою — приймально-передавального далекоміра. Використовується напівпровідниковий лазер як джерело випромінювання. Відстань можна визначити через час проходження (імпульсний метод), зсув фази (фазовий метод) відбитого сигналу, а також методом оптичної тріангуляції [56, 76].

- Імпульсний метод вимірювання відстаней.

Цей метод допомагає визначити час, за який випромінювання проходить відстань (2D). Основним фактором, що впливає на його точність, є точність виміру часу (реєстрації імпульсів). Сучасні пристрої вимірювання часу здатні реєструвати імпульси з точністю до 10^{-12} с, це дозволяє вимірювати відстані з високою точністю — до 1 мм [56, 76].

Переваги імпульсного методу: велика дальність дії при невеликій потужності імпульсу, однозначність результату (довжина лінії співвідносна з часом пробігу). Проте існують також недоліки, а саме: менша точність, якщо порівнювати з фазовим методом, а також обмеження частоти імпульсів у відстані до об'єкта.

- Фазовий метод вимірювання відстаней.

Під час вимірювання відстаней фазовим методом реєструється фазовий зсув $\Delta\varphi$ сигналу, що подолав подвійну відстань до перешкоди. З відомим значенням кількості N , довжин хвиль λ , відстань D визначається за формулою [76]:

$$D = N\lambda + \frac{\Delta\varphi}{2\pi} \lambda, \quad (3.1)$$

де число π — кутова міра радіан.

Основне завданням фазового методу полягає у визначенні цілого числа

довжин хвиль (N) у пройденій відстані [76].

Перевагами фазового методу є висока точність вимірювань і більша продуктивність. До недоліків можна віднести обмежену дальність дії, а також потрібно використовувати випромінювач із більшою потужністю.

- Метод оптичної тріангуляції.

Цей метод базується на обчисленні відстаней за тригонометричними співвідношеннями з використанням параметрів системи. Він може вимірювати як відносні, так і абсолютні відстані від датчика до об'єкта — від кількох мікрометрів до сотень і навіть тисяч метрів [76].

На основі дослідження методів визначення відстаней складено порівняльну характеристику за такими ознаками: точність визначення відстаней, максимальна відстань виміру, а також вказано, які фірми продукують системи лазерного сканування (таблиця 3.1).

Таблиця 3.1

Характеристики НЛС з урахуванням методу визначення відстаней

Метод визначення відстаней	Точність визначення відстаней (мм)	Максимальна відстань, що вимірюється (м)	Фірми-виробники
Імпульсний	до 10 (25)	50-300 (до 2000)	Leica, Callidus, Trimble, Optech, Riegl, Faro
Фазовий	до 10	до 100	IQsun, Leica, Vismage, Z+F
Метод оптичної тріангуляції	до 1	до 5	Trimble, Minolta

2. Оптико-механічний блок розгортки лазера (блок розгортки)

Цей блок забезпечує зміщення приймально-передавального тракту далекоміра й фіксацію кутів спрямованості випромінювання. Він складається з оптико-механічної системи, що містить дзеркальні призми й сервоприводи. Вертикальна розгортка реалізується за допомогою плоскої або багатогранної дзеркальної призми, а горизонтальна — шляхом розвороту блоку розгортки навколо осі.

Принцип дії блоку розгортки НЛС полягає у вимірюванні відстаней і кутів для реєстрації поверхні землі та об'єктів, що знаходяться на ній. НЛС можуть працювати у двох основних режимах: покроковому і безперервному.

Покроковий режим роботи блоку розгортки вимагає, щоб він залишався нерухомим до моменту, коли відбувається прийняття імпульсу. Реєстрація кутів спрямованості відбувається відразу після подачі імпульсу або після закінчення певного проміжку часу (у випадку, якщо сигнал не повернувся). Однак цей метод призводить до обмеженої швидкості роботи, оскільки час проходження сигналу визначається подвійною відстанню до перешкоди [76].

У безперервному режимі роботи блок розгортки обертається безперервно як у горизонтальній, так і у вертикальній площинах. Це дозволяє досягти високої швидкості вимірювань, проте безперервність обертання може призводити до неточностей у вимірюваннях відстаней через зміщення блоку розгортки під час повернення сигналу на приймач [76].

3. Канал передачі даних на керівний комп'ютер

Цей канал відповідає за передачу отриманих даних на керівний комп'ютер для подальшого аналізу й використання.

Ці структурні елементи НЛС спільно працюють для надання точних відомостей щодо відстаней до перешкод та забезпечення необхідної інформації для навігації.

Варто розглянути також технічні характеристики, що дозволяють оцінити НЛС і створити класифікацію, їхній перелік зображено на рис. 3.1. Відповідно до створеної схеми до них належать:

- Дальність дії — це максимальна відстань, на якій НЛС може отримати чіткий результат із гарантованими характеристиками. Цей параметр залежить від методу вимірювання відстані, потужності лазера й відбивної здатності поверхні.
- Точність вимірювання відстані залежить від похибки одиничного вимірювання, методу й конструкції далекоміра. Основним фактором, що впливає на точність, є розбіжність лазерного променя. Для поверхонь об'єктів зі складною геометрією, неперпендикулярних до осі променя, а також об'єктів, широко рознесених уздовж осі променя, відбитий сигнал походить від декількох

елементів поверхні. У результаті відстань може бути виміряна в будь-якій точці за межами об'єкта.



Рис. 3.1. Технічні характеристики НЛС

Джерело: систематизовано автором на основі 47,56,76

- Швидкість виконання вимірювань визначає, яку кількість точок може сканувати й записати НЛС за одиницю часу. Цей показник залежить від двох основних аспектів, а саме: способу, яким вимірюються відстані, а також конструкції блоку розгортки.
- Мінімальний кутовий крок сканування — це мінімальний кутовий зсув блоку розгортки для кожного вимірювання, який визначає максимально можливу щільність сканування для певної моделі НЛС і залежить від конструктивних характеристик цього блоку.
- Кут поля зору НЛС визначає в градусах максимальну область, яку можна охопити без переміщення чи розвороту НЛС із однієї сканерної станції. У

порівнянні з раніше випущеними моделями НЛС, які мали кут огляду 40° в обох площинах [76], сучасні моделі НЛС мають кут огляду, що наближається до панорамного, а саме: 360° у горизонтальній площині, і 320° у вертикальній.

- Діапазони прийнятних робочих температур і зовнішніх умов мають значний вплив на продуктивність НЛС. Зазвичай лазерні сканування не мають підвищеної морозостійкості через особливості своєї конструкції. Більшість моделей працюють лише при температурі вище 0°C , що досить сильно обмежує їхнє використання на вулиці взимку. Однак останнім часом виробники почали вдосконалювати НЛС через зростання попиту. Сучасні НЛС мають високий ступінь захисту від пилу й вологи. НЛС з рідинним охолодженням мають найбільшу перевагу серед усіх інших, оскільки вони герметичні й не контактують із зовнішнім середовищем.

- Згідно з міжнародним стандартом IEC 60825-1 [99, 106, 122, 123, 124], лазери поділяють на кілька класів залежно від рівня безпеки: Клас 1, Клас 1М, Клас 2, Клас 2М, Клас 3R, Клас 4 [99].

- Для приведення результатів вимірів НЛС до певної системи координат використовується орієнтування за допомогою точок, координати яких відомі, вони носять назву — сканерні марки. Цей метод застосовується через те, що в більшості НЛС відсутні пристрої, які б дозволили врахувати нахил і розворот, а це не дозволяє використовувати інші способи орієнтування. Проте останнім часом усе частіше спостерігається тенденція до переходу на традиційний метод орієнтування, який подібний на той, що використовується під час орієнтування електронних тахеометрів. Щоб досягти такого результату, НЛС комплектуються пристроями, які здатні компенсувати нахил приладу в певному діапазоні або дають можливість врахувати його значення. Коли відомі три величини а саме: положення центру сканера, величини значень кутів нахилу й дирекційний кут — можна привести вимірювання до необхідної системи координат.

- Більшість сучасних моделей топографічних НЛС мають можливість працювати як від джерела змінної, так і постійної напруги. Робота від джерела змінної напруги є корисною, коли наявний безперешкодний доступ до мережі 220 В, а це зазвичай можливо в закритих виробничих приміщеннях. У випадку,

якщо роботи необхідно проводити на відкритих об'єктах, то електроживлення НЛС надається спеціалізованими чи іншими акумуляторними батареями, які можуть забезпечувати стабільну напругу в діапазоні від 12 до 24 В. Існують моделі НЛС, для яких мінімальна необхідність напруги становить 24 В, вони можуть мати збільшену вагу джерела живлення, що знижує їхню мобільність.

Останнім часом було представлено низку вдосконалених наземних лазерних сканерів, впроваджено й нові технології, тому класифікація стає дедалі складнішою. Якщо проаналізувати й систематизувати всі вищезгадані характеристики, а також врахувати додаткові дані про принципи дії, розміри, призначення (рис. 3.2), сфери використання тих чи інших НЛС, то їхня класифікація розширюється.

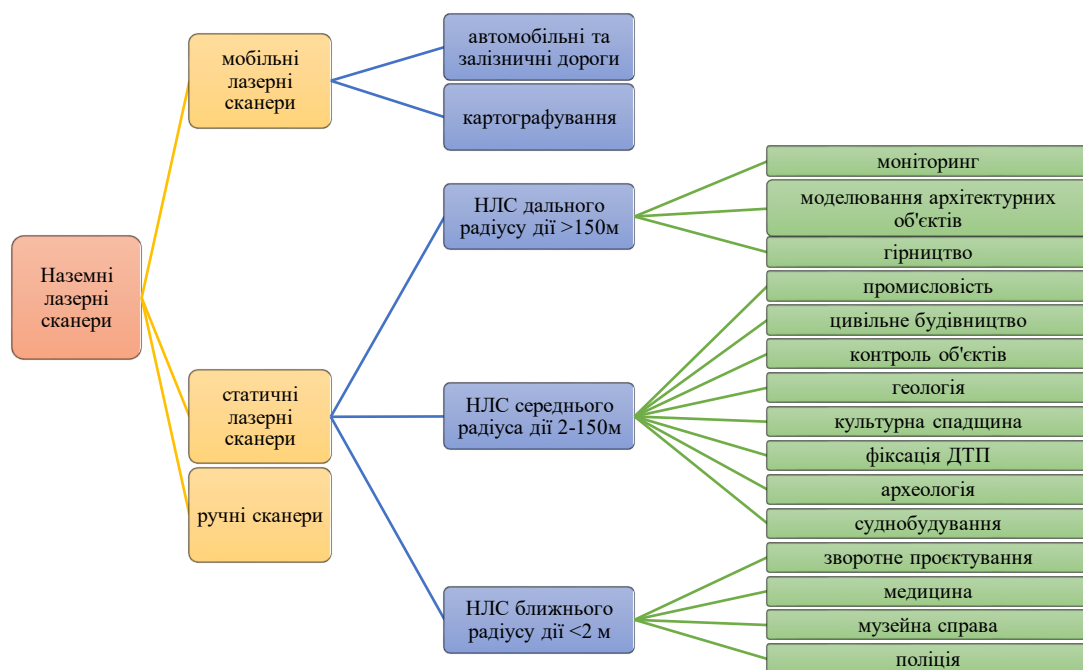


Рис. 3.2. Класифікація НЛС та сфери, у яких їх використовують [76]

Статичні НЛС поділяють на три види:

1. НЛС ближнього радіусу дії.
2. НЛС середнього радіусу дії.
3. НЛС дальнього радіусу дії.

Детальна інформація про статичні НЛС зображена на рис. 3.3.

1. НЛС ближнього радіуса дії, що володіють високою (до сотих доль міліметра) точністю вимірів, але при цьому мають обмежену дальність дії (до 2 м) та / або кут поля зору (у межах кута поля зору об'єктива цифрової камери). Такі сканери мають досить вузьку специфікацію, багато з них є стаціонарними.

2. НЛС середнього радіуса дії здатні виконувати вимірювання з точністю до декількох міліметрів на відстанях до 150 м. НЛС цієї групи мають, як правило, досить великий кут поля зору.

3. НЛС дальнього радіуса дії дозволяють виконувати вимірювання на відстані від 150 м. При цьому їхня точність коливається від 1 до 50 мм. Такі сканери володіють близьким до панорамного кута поля зору (у горизонтальній площині) і високою швидкістю виконання вимірювань (до 500 000 точок за секунду). Вони отримали назву «топографічні наземні лазерні сканери».

Рис. 3.3. Типи статичних НЛС

Джерело: систематизовано автором

Наше дослідження проводилось за допомогою лазерного сканеру FARO FOCUS S150. Основні технічні характеристики НЛС, які були вищезгадані, подані в таблиці 3.2 [105].

Таблиця 3.2

Технічна характеристики НЛС FARO Focus S150 [105]

	Технічна характеристика	Показник
1	Дальність дії	До 150 метрів
2	Точність вимірювання відстані	± 1 мм
3	Швидкість виконання вимірювань	976000 т/с
4	Мінімальний кутовий крок сканування	$0,009^\circ$
5	Кут поля зору НЛС	360° по горизонталі і 300° по вертикалі
6	Діапазони прийнятних робочих температур і зовнішніх умов	Може працювати в діапазоні від -20°C до $+55^\circ\text{C}$ (розширений діапазон).
7	Ступінь безпеки	Згідно з міжнародним стандартом ІЕС 60825-1 відноситься до 1 класу.
8	Можливість геодезичного орієнтування НЛС	Підтримує можливість геодезичного орієнтування за допомогою систем навігацій і місцезнаходження (НЛС), таких як GPS.
9	Споживана напруга	Споживає напругу від 100 до 240 В змінного струму й 24 В постійного струму.
10	Метод вимірювання довжини	Фазовий метод

Наземне лазерне сканування відбувається в три етапи:

1. Встановлення НЛС на станції.
2. Створення планового висотного обґрунтування.
3. Виконання вимірювань.

Розглянемо кожен етап детальніше.

1. Вимірювання розпочинається із встановлення сканера на штатив або можна використати інший пристрій, який забезпечить статичність системи в процесі знімання. Вибір місця, де буде розташовано сканер, обумовлений максимальним кутом захоплення ділянки, яку необхідно сканувати. Саме тут важливу роль відіграє технічна характеристика кута поля зору, як видно із даних таблиці 3.2., у нашому дослідженні характеристики такі: горизонтальний кут 360° , а вертикальний 300° .
2. Щоб виконувати вимірювання НЛС у необхідній системі координат потрібно спочатку створити планово-висотне обґрунтування.

Для проведення лазерного сканування відбуваються два етапи створення планово-висотної основи.

Згідно з Інструкцією [38] інвентаризація зелених насаджень проводиться раз на п'ять років. Відповідно до інформації Департаменту екології та природних ресурсів Закарпатської обласної державної адміністрації й вимог, викладених в інструкції, більшість об'єктів ПЗФ, населених пунктів Закарпаття, потребують інвентаризації.

Сквер Т. Масарика — парк-пам'ятка садово-паркового мистецтва місцевого значення в Україні. Площа 0,57 га. Сквер названий на честь першого Президента Чехословаччини (1918 – 1935) Т. Г. Масарика. Посеред площі 23 березня 2002 року йому було встановлено пам'ятник.

У зв'язку з відсутністю наявних планів, геодезичних матеріалів, креслень, проєктів, графічних матеріалів, належної якості інвентаризація об'єктів зеленого господарства здійснювалася з паралельним створенням таких матеріалів, шляхом проведення тахеометричного знімання.

Перший етап. Створення основного планово-висотного обґрунтування. Для

цього виконано тахеометричне знімання відповідно до схеми (рис. 3.5) у масштабі 1:500 згідно з Інструкцією із топографічного знімання в масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 та 1:500 (ГКНТА-2.04-02-98) [14, 93].

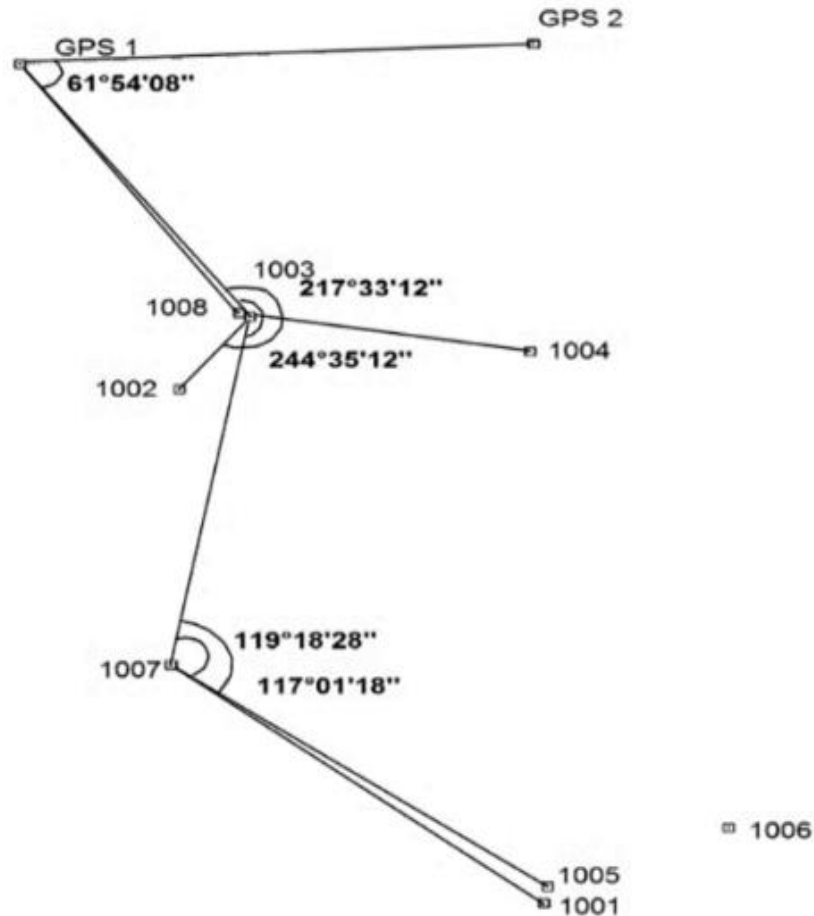


Рис. 3.5. Схема основного планово-висотного обґрунтування

Основне ПВО опирається на пункти ДГМ. Додатково можна використовувати мережі згущення. Основною задачею є забезпечення необхідною кількістю точок ПВО ділянки, на якій відбувається сканування.

Після створення ПВО проведено знімання й створено топографічний план місцевості (рис. 3.6) та побудовано ЦМР з опорою на відмітки висот. Ця модель побудована в картографічному редакторі ПП Digital (рис. 3.7).

Наступний етап. Створення робочого планово-висотного обґрунтування вже безпосередньо для сканера.

Робоче ПВО — це точки, координати яких відомі, і вони чітко й однозначно можуть бути розпізнані. Ці точки слугують основою для обчислень

Розташування точок робочого ПВО відносно НЛС має бути рівномірним, більше точок призводить до додаткових вимірювань, а це підвищує надійність і точність визначення параметрів орієнтування сканера.

Розташування НЛС під час дослідження визначено за допомогою методів програмування в MatLab. Реалізовано підбір можливих варіантів видимості для максимального покриття території скануванням. Підбір проводиться автоматизовано методом Монте-Карло з внесеними обмеженнями нормального розподілу й вибору залежно від розміру території й характеристик НЛС, з кроком підбору 1 млн. варіантів. Опрацювання сумарної видимості пропонується оцінювати шляхом внесення обмежень щодо максимального покриття території сканування й кількості спостережень кожного елемента матриці [12, 13, 18].

Мінімум вихідних даних, необхідних для розв'язку задачі, можна представити у вигляді двох матриць: H , що характеризує цифрову модель місцевості з характеристиками рельєфу, з вибраним кроком (ф-ла 3.2), та матриці перешкод D , у нашому випадку — зелених насаджень, з визначеним розташуванням, висотою й товщиною стовбура (ф-ла 3.3)

$$H = \begin{bmatrix} H_{1,1} & H_{1,2} & \dots & H_{1,j} \\ H_{2,1} & H_{2,2} & \dots & H_{2,j} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ H_{i,1} & H_{i,2} & \dots & H_{i,j} \end{bmatrix}. \quad (3.2)$$

$$D = \begin{bmatrix} X_1 & Y_1 & D_1 & H_1 \\ X_2 & Y_2 & D_2 & H_2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ X_n & Y_n & D_n & H_n \end{bmatrix}. \quad (3.3)$$

Визначення видимості реалізується методом відкидання точок видимості цільової точки, у випадку перевищення кута нахилу будь-якої проміжної точки (пропонується крок $\frac{1}{2}$ розміру ЦМР, елементів матриці H) між ними над кутом нахилу цільової точки відносно станції сканування, а також відкидання точок видимості у випадку перевищення заданої відстані сканування. Характеристики

планового розташування елементів отримують шляхом розв'язання набору прямих та обернених геодезичних задач, а висотних характеристик проміжних точок — інтерполяції між вершинами ЦМР (3.2). Реалізувавши два цикли вищенаведених операцій, отримують $V_{i,j}$ матрицю видимості зелених насаджень у точці, у якій видимим деревам присвоюється значення 1, а невидимим 0. Приклад відображення матриць видимості з двох довільних точок наведено на рис. 3.8.

$$V_{C(i,j)} = \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ \dots \\ V_n \end{bmatrix}, \quad (3.4)$$

де C_{ij} — розташування станції сканування матриці (3.2).

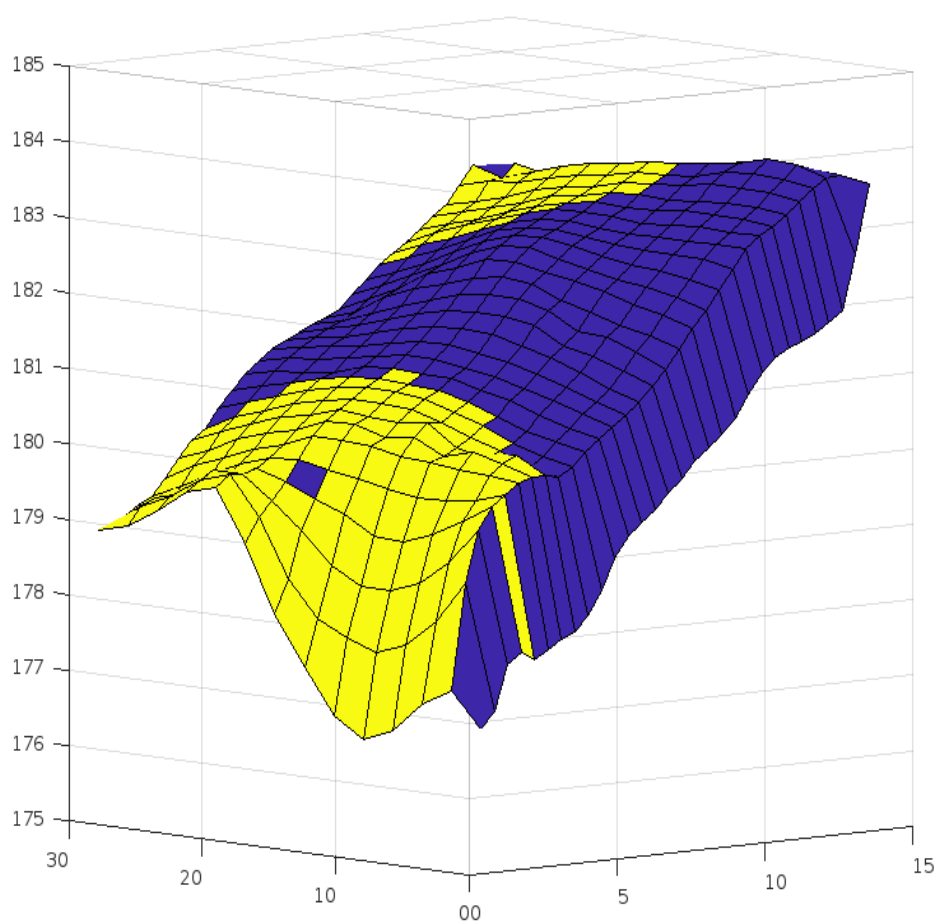


Рис. 3.8. Приклад відображення видимості 2-ох станцій сканування [13]

Результат пошуку оптимального розташування станцій сканування можна визначити як матрицю $C(H)$ з мінімальною кількістю елементів. При цьому набір елементів матриці $C(H)$ потрібно вибрати такий, який дозволить визначити шукані характеристики зелених насаджень, а саме, щоб всі елементи матриці $V_{C_{\min}}$ мали значення більше 0.

$$C(H) = [C_1 \quad C_2 \quad \dots \quad C_m], \quad (3.5)$$

$V_{C_{\min}}$ можна визначити як кумулятивне поле зору, яке показує комбіноване охоплення всіх областей видимості зелених насаджень із мінімальною кількістю точок сканування m :

$$V_{C_{\min}} = \sum_{C_1}^{C_m} V_C, \quad (3.6)$$

Рис. 3.6 містить фрагмент топографічного плану місцевості з визначеними характеристиками рельєфу території. Спираючись на відмітки висот (рис. 3.6), у картографічному редакторі ПП DigitalS ми сформували ЦМР, яку відображено на рис. 3.7. Розташування матриці ЦМР приведено в місцеву декартову систему координат для зручності підрахунків.

У роботах у цілях моніторингу НЛС пропонується використовувати обмеження дальності в 30 м.

Розташування визначених 6 станцій відображено на топографічному плані території (рис. 3.9). Для порівняння на рис. 3.10 показано розташування на топографічному плані території 12 станцій, визначених оператором сканування у 2021 році [18].

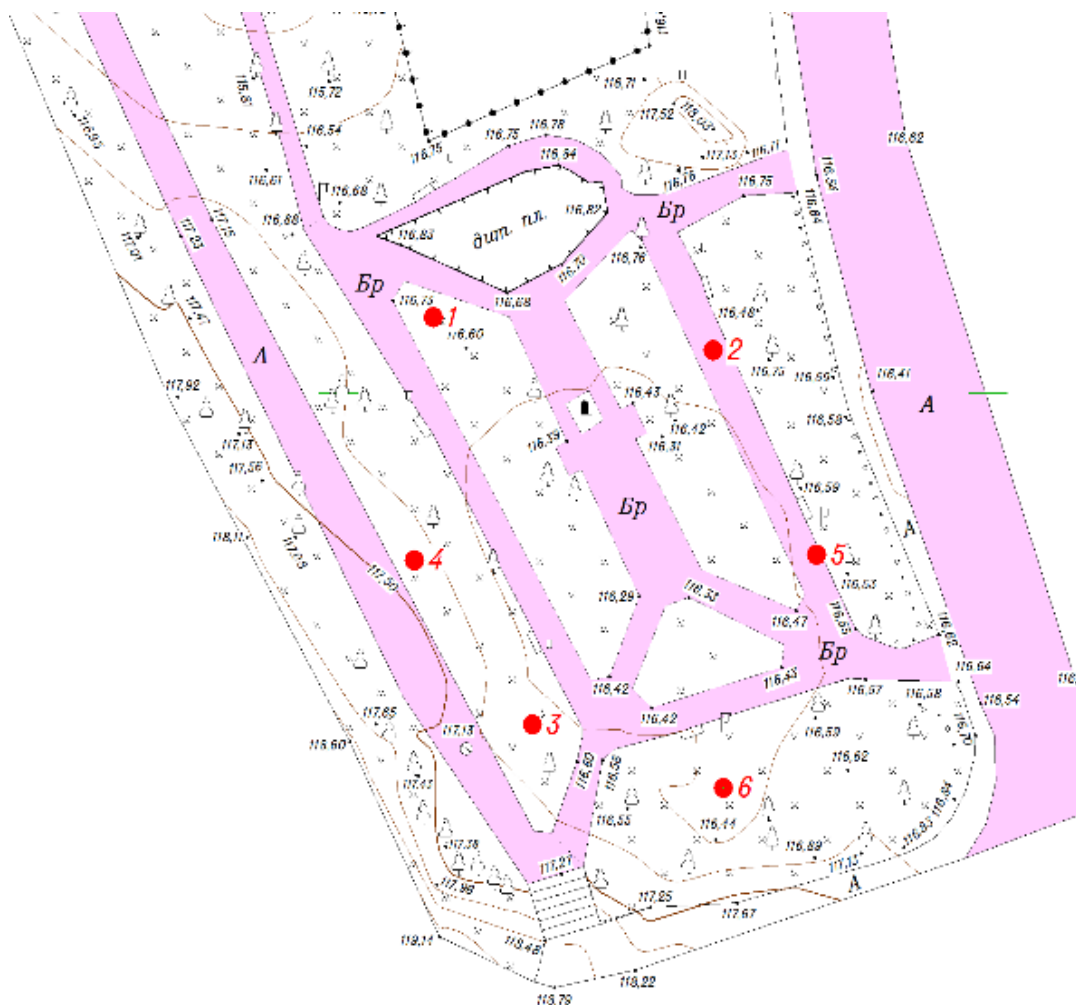


Рис. 3.9. Розташування визначених 6 станцій сканування

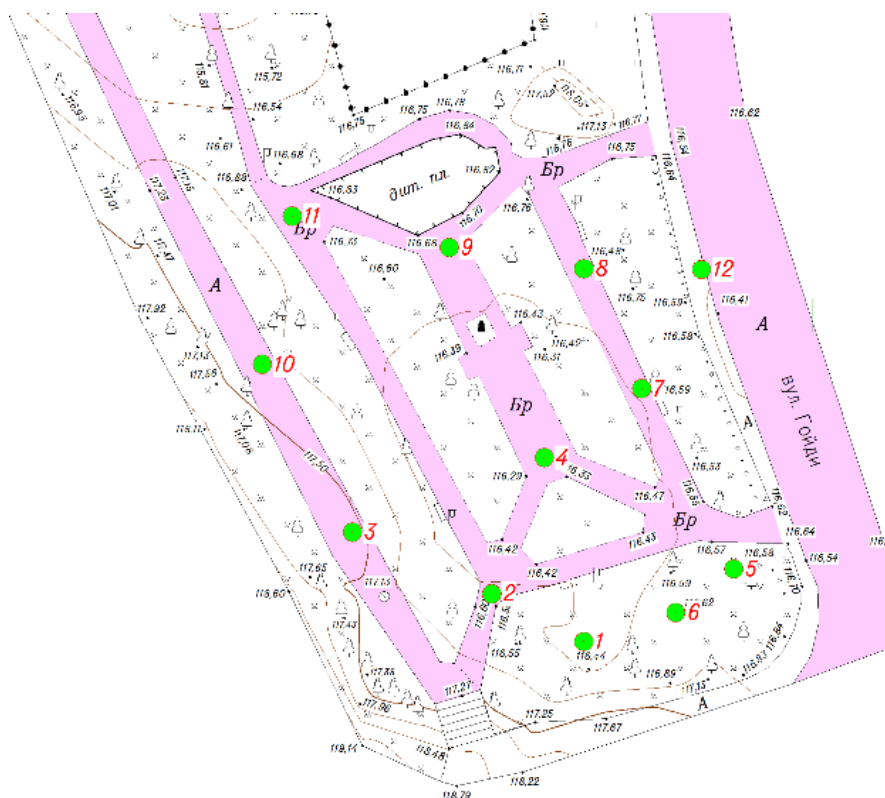


Рис. 3.10. Розташування 12 станцій сканування, визначених оператором

3. Виконання вимірювань за допомогою наземних лазерних сканерів має таку послідовність:

1) Встановлення зв'язку між наземним лазерним сканером і програмним забезпеченням управління. Процес управління скануванням та обміном даними зазвичай відбувається через спеціалізоване програмне забезпечення. Деякі НЛС можуть мати вбудований комп'ютер із монітором, але дані також можуть зберігатися на знімних носіях пам'яті. Після запуску програмного забезпечення й встановлення зв'язку зі сканером проводяться вимірювання.

2) Визначення області сканування. Програмне забезпечення для керування різними моделями наземних сканерів має однакові можливості встановлення параметрів сканування й обміну даними. Область сканування задається відповідно до поля зору сканера. Для цього може використовуватися відеозображення або панорамний знімок, отриманий за допомогою вбудованої камери. Однак точність сканування може відрізнятися від заданої через різницю положень камери й приймально-передавального пристрою далекоміра. Інший спосіб — формування зображення за даними сканування.

3) Встановлення кроку сканування. Більшість наземних лазерних сканерів дозволяють встановлювати значення кроку сканування як в кутовому, так і в лінійному вимірах. У другому випадку програмне забезпечення вказує відстань між точками на заданій довжині, на основі чого визначається відповідний кутовий крок.

4) Встановлення режиму сканування. Багато моделей наземних лазерних сканерів мають функції, спрямовані на підвищення точності вимірювань. Один із методів — це ручне або автоматичне фокусування лазерного променя на фіксовану відстань перед кожним вимірюванням. Інший — збільшення кількості вимірювань для подальшого усереднення результатів.

Під час дослідження сканування на кожній станції здійснено в три етапи:

- виконання панорамного скану;
- розпізнавання на панорамному скані відбивних марок і сканування їх із високою щільністю для підвищення точності визначення марок;
- виділення на панорамному скані області, що підлягає зніманню, та її

сканування із необхідною щільністю [50, 52].

Як і в будь-якому методі вимірювання, що застосовується в геодезії, на результати наземного лазерного сканування впливають різноманітні похибки [39, 76] (рис. 3.11).

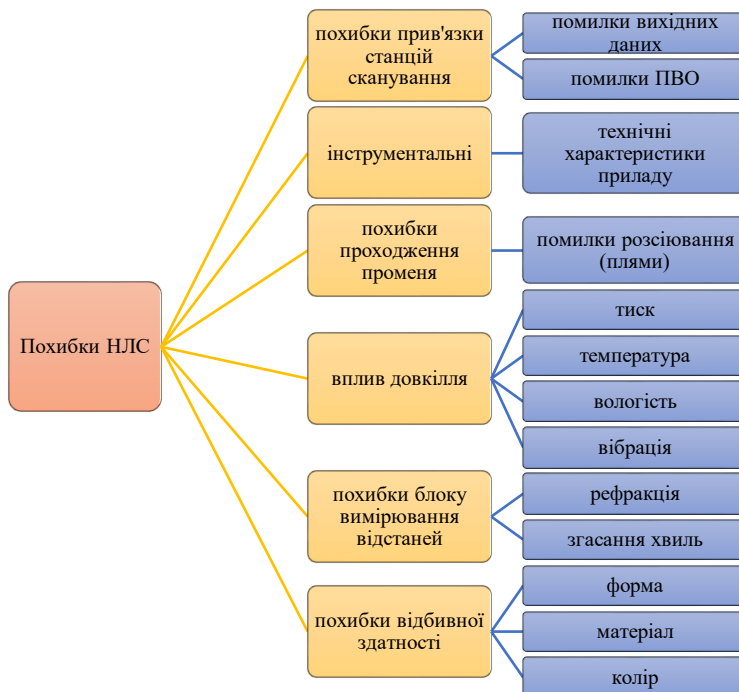


Рис. 3.11. Види похибок, які впливають на результати вимірювання НЛС

Додатково слід відмітити наявність похибок, які супроводжують процес прив'язки хмари точок до вибраної системи координат. Вони спричинені різноманітними чинниками: похибкою положення знімальної точки, центрування і горизонтування сканера, наявність шумів та відхилення променя від істинного шляху.

Згідно роботи [1] точність визначення координат точок лазерного сканування — величина статистична. Зазвичай виробники приладів для виконання НЛС подають параметри точності за певних, стандартних умов з врахуванням залежності від відстані та показника відбивної здатності поверхні досліджуваних об'єктів. Для роботи з НЛС може бути використана дискретна система оцінки точності з врахуванням роздільної здатності приладу та відстані.

Сканування дерев скверу виконувалось наземним 3D-сканером FARO Focus S150 (рис. 3.12). Цей сканер має радіус дії 150 метрів, якість отриманих даних досягається завдяки функції компенсації на місці



Рис. 3.12. Вигляд НЛС FARO Focus S150

Сканування на кожній станції здійснюється в три етапи:

- виконання панорамного скану;
- розпізнавання на панорамному скані відбиваючих марок і сканування їх з високою щільністю для підвищення точності визначення марок;
- виділення на панорамному скані області, що підлягає зйомці, та її сканування з необхідною щільністю (рис. 3.13).

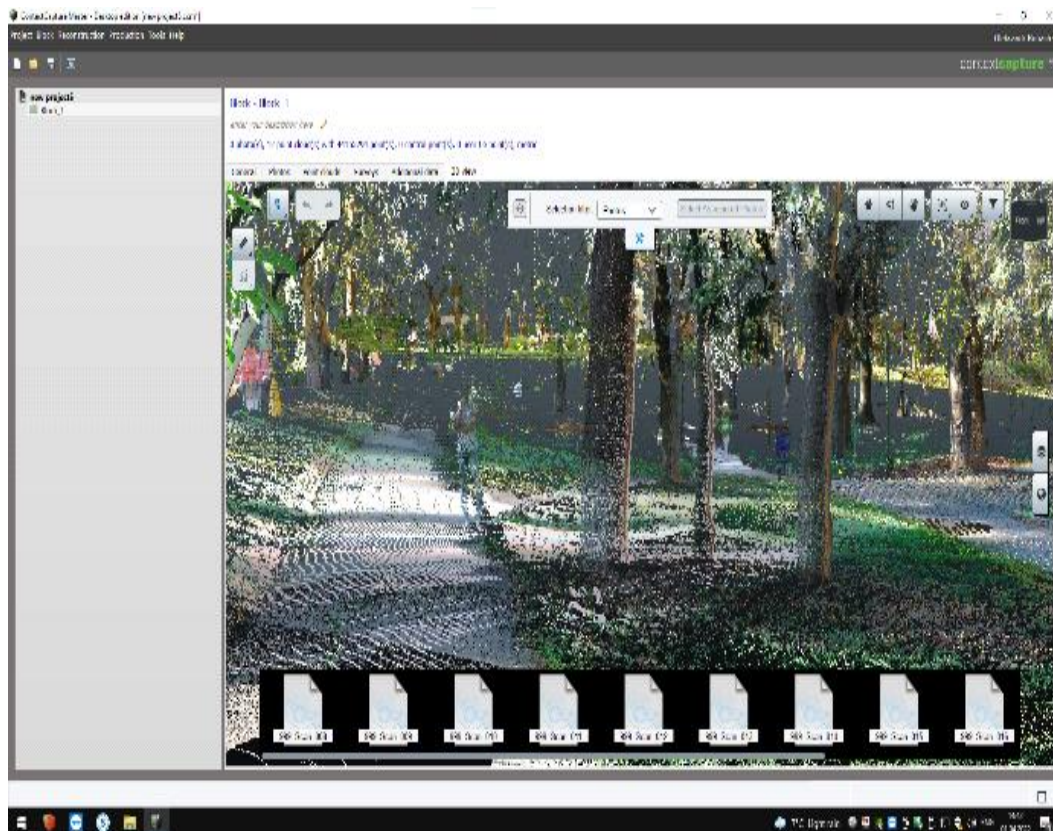


Рис. 3.13. Фрагмент відсканованої області інтересу

Після виконання процесу сканування в програмному пакеті Scene2019, отримано первинну цифрову модель насаджень (рис. 3.14).

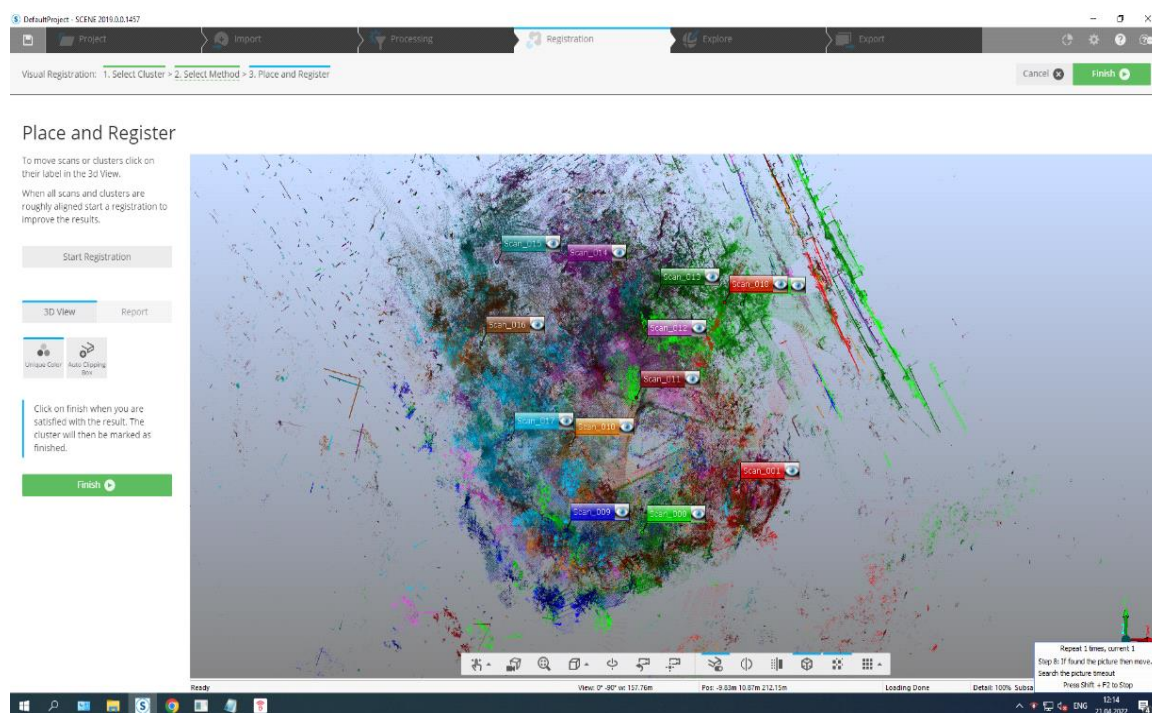


Рис. 3.14. Цифрова модель, отримана за допомогою програмного пакету Scene2019

У таблицях 3.3 та 3.4 вказано як загальні похибки сканування, так і детальні під час сканування скверу Т. Масарика в місті Ужгород.

Таблиця 3.3

Похибки сканування

Кластер / Скан	З'єднання	Макс. похибка точки, mm	Середня похибка точки, mm	Мін. перекриття, %
Scan_001	2	21,6	18,7	18,0
Scan_008	2	29,6	25,9	6,9
Scan_010	3	22,2	21,3	12,8
Scan_011	3	46,7	27,5	4,5
Scan_012	2	20,2	14,7	12,8
Scan_014	2	46,7	38,0	3,9
Scan_015	1	15,9	15,9	18,2
Scan_009	1	29,3	29,3	3,9
Scan_018	1	26,5	26,5	4,5
Scan_013	1	29,6	29,6	6,9

Таблиця 3.4

Детальні похибки

Кластер / Скан 1	Кластер / Скан 2	Похибка точки, mm	Перекриття, %
Scan_008	Scan_013	29,6	6,9
Scan_010	Scan_001	21,6	18,0
Scan_010	Scan_008	22,2	19,8
Scan_010	Scan_012	20,2	12,8
Scan_011	Scan_012	9,3	56,4
Scan_011	Scan_014	46,7	12,2
Scan_011	Scan_018	26,5	4,5
Scan_015	Scan_001	15,9	18,2
Scan_009	Scan_014	29,3	3,9

Максимальна похибка точок сканування становила 46,7 мм, а середня квадратична похибка — 24,6 мм за мінімального перекриття 3,9 %. Оскільки територія скверу доволі складна для сканування необхідних нам об'єктів, а саме дерев, в нашому випадку важко досягти відсотка перекриття більше ніж 50 %. Зважаючи на цілі сканування й складну структуру об'єктів, отримана точність цілком задовільна [15, 50,52].

Важливим напрямком вдосконалення сучасних геоінформаційних систем є розширення функціоналу роботи із зеленими насадженнями. Даний функціонал повинен мати можливість візуалізації перспективи розвитку об'єктів, в залежності від їх видових характеристик.

Вперше в Закарпатті створена просторова модель об'єктів садово-паркового господарства на основі якісних даних за допомогою програмного забезпечення з можливістю забезпечення публічного доступу. Результати наземного лазерного сканування в програмному пакеті Faro SCENE оприлюднені за допомогою різних сервісів, один з яких показано на рис. 3.15.

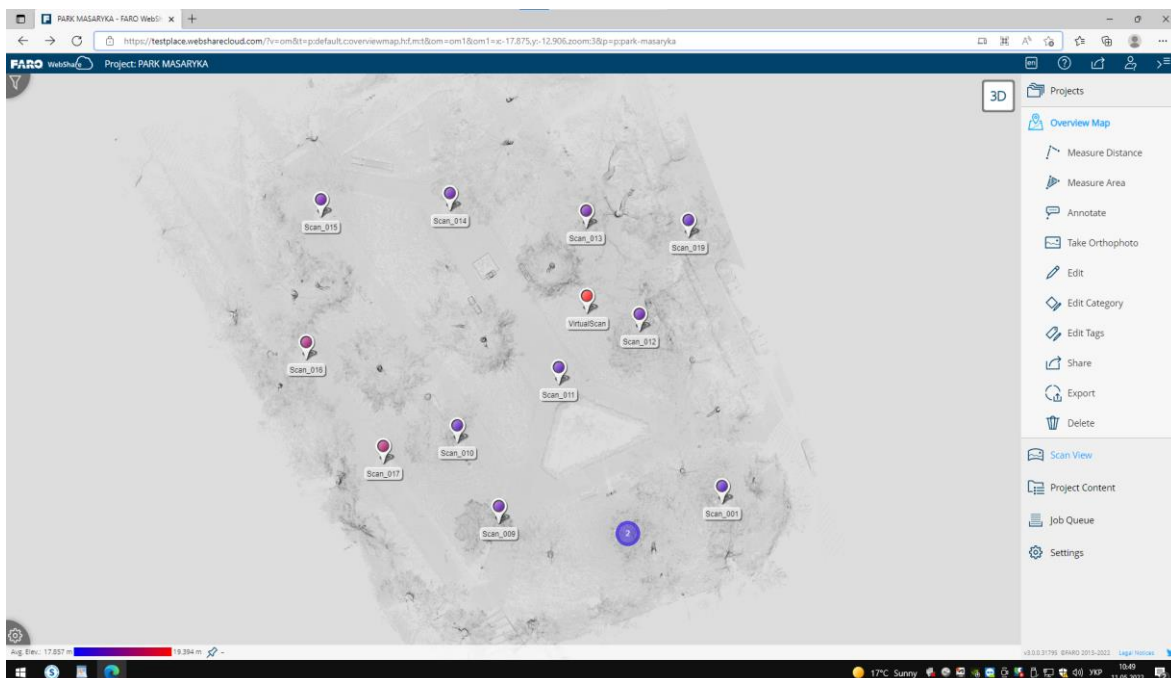


Рис. 3.15. Відображення вишукувань в сервісі FARO SCENE WebShare

Даний сервіс, як і більшість провідних ГІС, дозволяє користувачам з правом доступу для перегляду та редагування файлів проводити дії щодо замірів (рис. 3.16), визначення площ окремих територій, створення приміток, створення ортофотопанів (рис. 3.17), створення та редагування категорій, правка позначень, що вирішує більшість задач пов'язаних з інвентаризацією зелених насаджень населених пунктів.

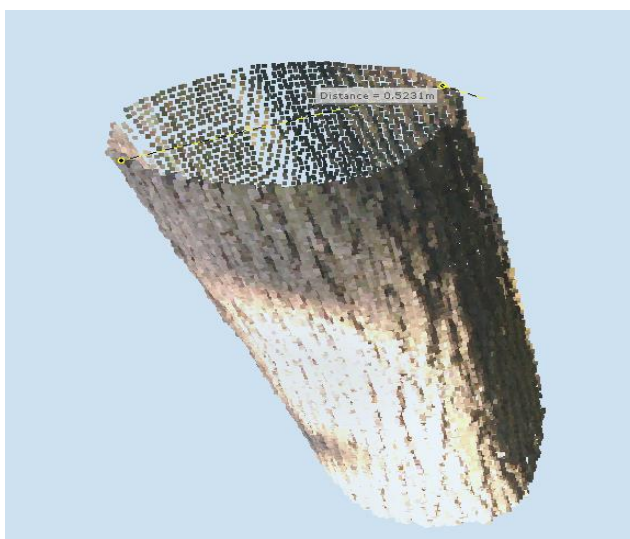


Рис. 3.16. Визначення характеристик стовбура в програмному пакеті FARO SCENE



Рис. 3.17. Фрагмент ортофотоплану згенерованого в сервісі FARO SCENE WebShare

Крім вищенаведеного, можна переглядати панорамні знімки території з точок сканування (рис. 3.18) та повноцінно працювати з моделлю в режимі 3D, в тому числі зі станцій сканування (рис. 3.19).

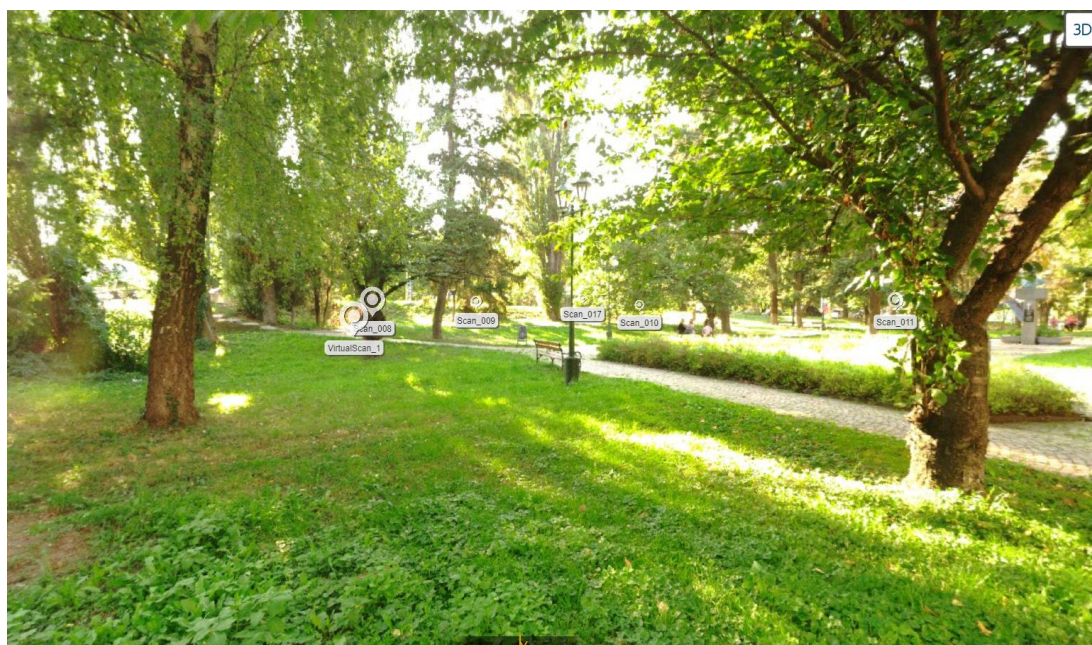


Рис. 3.18. Панорамне відображення зі станції знімання в сервісі FARO SCENE WebShare

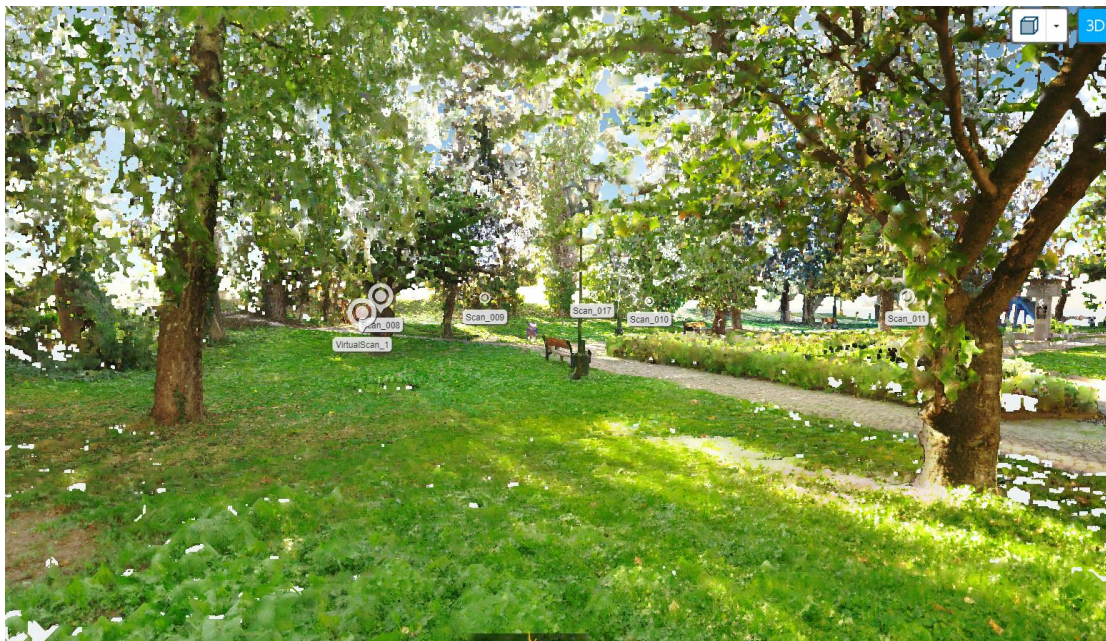


Рис. 3.19. 3D-перегляд моделі зі станції знімання в сервісі FARO SCENE WebShare

Отримані результати можуть бути використані муніципальною владою для упорядкування та догляду за сквером Т. Масарика в м.Ужгороді.

3.2. Інвентаризація зелених насаджень скверу Т. Масарика в м. Ужгород з використанням наземного лазерного сканування

Інвентаризація зелених насаджень — це процес обліку й оцінки різноманітності, кількості, стану та потенціалу зелених насаджень на певній території. Вона може включати парки, сквери, ліси, дерева на вулицях, сади та інші природні або природоподібні місця. Інвентаризація дозволяє збирати інформацію про стан зелених зон, їхнє розташування, розмір і біорізноманіття. Ця інформація може використовуватися для планування розвитку території, охорони довкілля, а також для ухвалення рішень щодо догляду за зеленими насадженнями та збереження їх [38].

Наразі в Україні вимоги до технологій вимірювання зелених насаджень не регламентовані, за винятком тих, що передбачені Інструкцією з топографічного знімання в масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 та 1:500 [93]. Вони можуть містити такі аспекти, як: методи вимірювання, точність, розміщення точок вимірювання

й інші параметри.

З огляду на значення зелених насаджень для екології й планування міського середовища буде корисно регламентувати більше деталей технологій вимірювання. Такі регуляції можуть сприяти створенню стандартів, які допоможуть забезпечити однорідність і якість даних щодо зелених насаджень, що може бути корисним для планування й управління міським середовищем.

Інвентаризація об'єктів зеленого господарства здійснюється з метою, яка детально представлена на рис 3.20 [38].



Рис. 3.20. Мета інвентаризації зеленого господарства

Після отриманих результатів польових зніманих було проведено камеральні роботи. Процес опрацювання наземних лазерних даних розпочався з фільтрації

хмар точок, що складається з видалення частин поверхонь, що перекривають одна одну, згладжування та прибирання шуму, а також видалення віддалених, ізольованих, розташованих у повітрі та під поверхнею землі помилкових точок. Кожна з цих функцій виконувалась з індивідуальними налаштуваннями для отримання максимально коректних даних із можливістю подальшої класифікації [9, 34, 35].

Отримані дані з приведенням хмари точок до нормалізованого стану наведені в таблиці 3.5. Такий підхід дозволяє зробити відомості більш узгодженими й придатними для подальшого аналізу та використання.

Таблиця 3.5

Приведення хмари точок до нормалізованого стану

Клас об'єктів	Кількість точок	Min. Z	Max. Z
Всі точки	15 798 215	116,38	161,96
Поверхня	265 467	116,38	118,14
Низька рослинність	8 628 237	116,42	138,44
Середня рослинність	46 975	116,86	119,92
Висока рослинність	1 921 028	116,91	146,25
Будівлі	475	120,19	121,11
Ізольовані точки	7	135,98	161,96
Рослинність	439 942	116,84	141,44
Дерева	2 446 466	116,94	141,2
Автомобіль	42 369	117,03	119,6
Інші	1 249	120,18	134,32

Хмара точок (point cloud) — це набір тривимірних точок у просторі, які представляють поверхню об'єкта або навколишнього середовища [94]. Ці точки можуть бути зібрані з допомогою датчиків, таких як лазерні сканери або камери, і представляють собою дискретне відображення поверхні об'єкта (рис. 3.21).

Хмари точок широко використовуються в таких галузях, як: геодезія, архітектура, будівництво, геологія, комп'ютерна графіка та інші. Вони дозволяють отримувати детальну просторову інформацію про об'єкти й допомагають виконувати різноманітні аналізи та візуалізації, що сприяє вирішенню різних завдань і задач [94]. На рисунку 3.13 і в таблиці 3.5 зазначено

класи точок, які в дослідженні не потрібно.

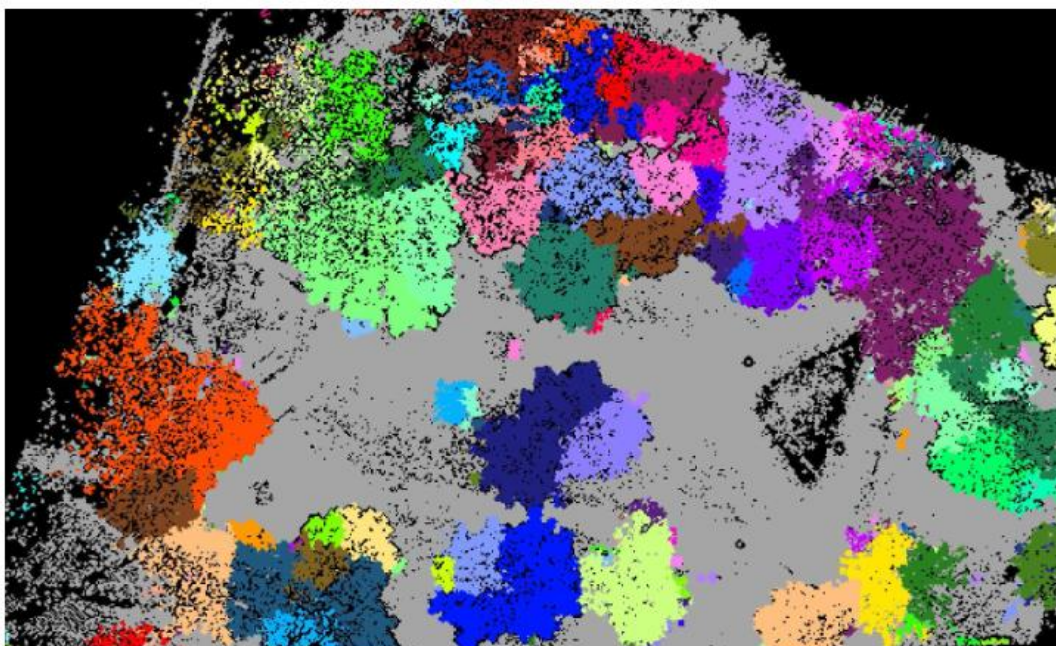


Рис. 3.21. Згруповані дані отриманих класів високої рослинності й дерев отримані в програмному забезпеченні Terrasolid

Для зручності роботи зайві точки усунено й залишено тільки класи поверхня та дерева, до яких перенесено дані з класу високої рослинності (рис. 3.22) [9, 19, 50, 52].

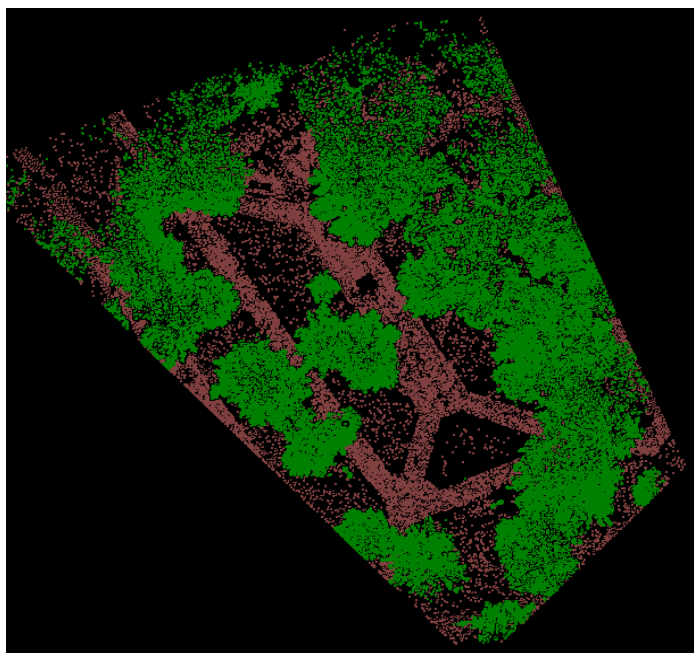


Рис. 3.22. Відображення класів рослинності та поверхонь

Перший крок полягав у виділенні та виокремленні точок, які знаходилися на висоті від 129 до 131 см над поверхнею території, згідно з рекомендаціями,

наведеними в роботі. Ці точки були сформовані в набори хмар точок для подальшого опрацювання у вигляді окремих перерізів стовбурів (рис. 3.23).

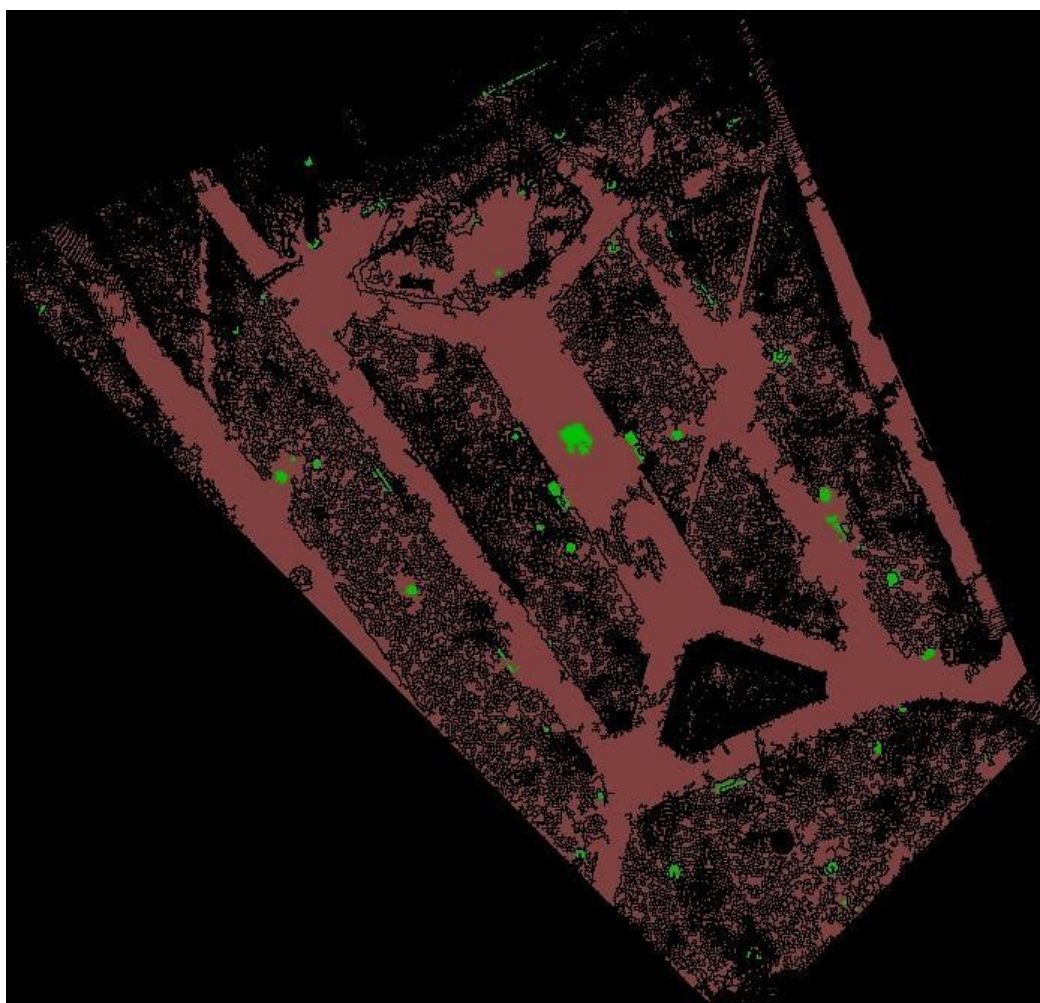


Рис. 3.23. Поверхня території та сформовані набори хмар точок у вигляді окремих перерізів стовбурів

Отримані відомості надали можливість вручну визначити основні шукані значення [9, 19, 50, 52].

Цей підхід дозволяє систематично аналізувати структуру й параметри зелених насаджень і може бути важливим для подальшого дослідження їхнього стану й розвитку [9, 19, 50, 52].

Черговий аналіз включав побудову кіл стовбура навколо даних, але виконання цього процесу ручним способом може забрати значну кількість часу. Тому для визначення діаметрів дерев використані алгоритми апроксимації кола в арифметичному варіанті, зокрема алгоритм, запропонований у роботі. Для реалізації цього методу використовується інструмент моделювання з назвою

«Trees toolbox» у програмному забезпеченні Terrasolid (рис. 3.24) [9, 19, 50, 52].

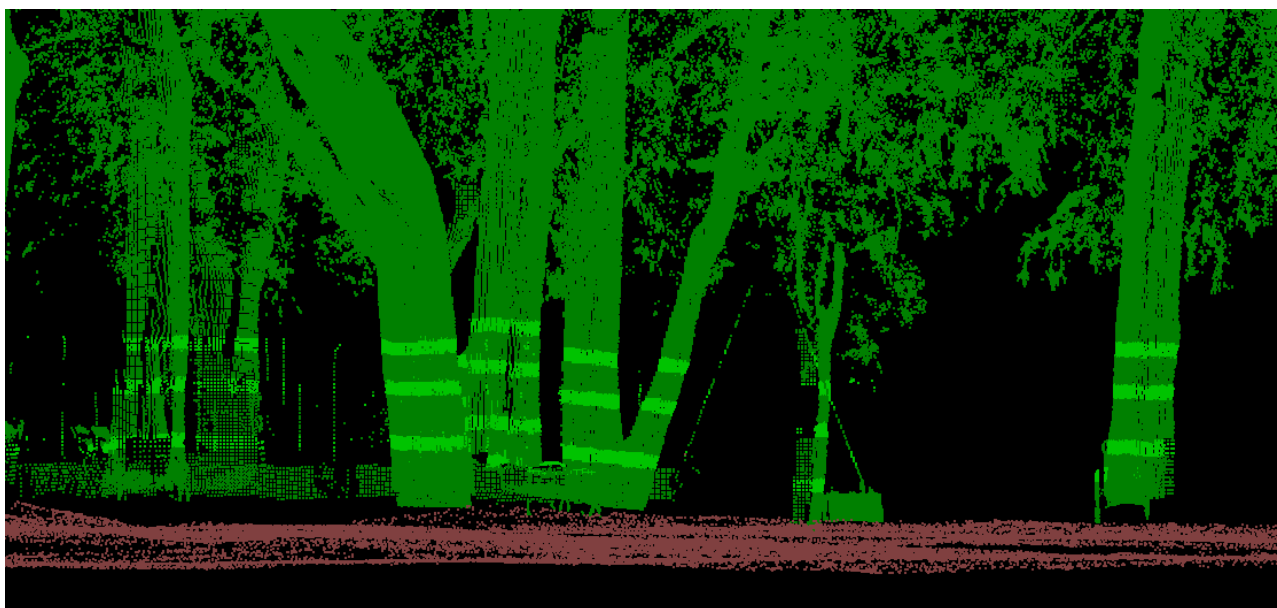


Рис. 3.24. Фільтрація хмар точок із визначеними перерізами отримана в програмному забезпеченні Terrasolid

Використання алгоритмів і програмного забезпечення для автоматизації процесу визначення діаметрів дерев може значно зберегти час і спростити аналіз даних зелених насаджень [9, 19, 50, 52].

З рис. 3.24 видно, що для отримання якісних відомостей необхідно провести фільтрацію хмар точок не лише на висоті 1,3 метра, але й на інших висотах. Однак поточна версія програмного забезпечення оптимізована для оцінки загального об'єму окремих стебел (одностовбурне розгалуження), а не для кількох стебел або гілок (багатостовбурне розгалуження) [9, 19, 50, 52].

Моделювання розташування зелених насаджень виконувалось із використанням типових доступних моделей із назвами «*Betula pendula*» та «*Picea abies*» за методом ідентифікації стовбура (рис. 3.25). Це зроблено, оскільки метод ідентифікації найвищої точки, що найкраще підходить для ідентифікації зелених насаджень під час використання хмар точок з повітряного лідарного знімання, часто дає занадто багато помилкових значень [9, 19, 50, 52].

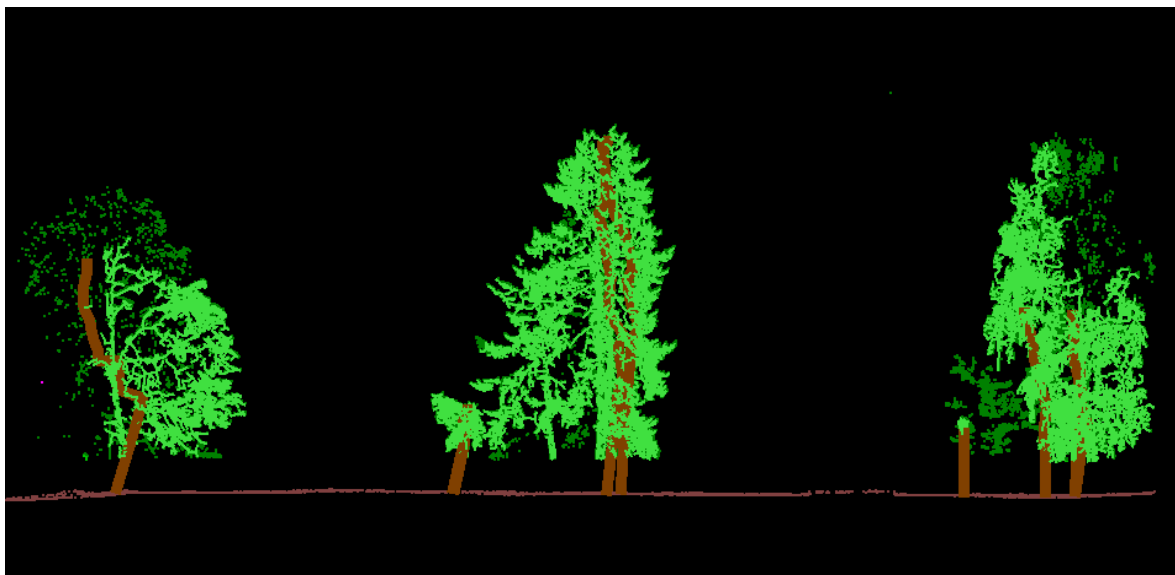


Рис. 3.25. Графічне представлення процесу моделювання об'єкта дослідження, отримане в програмному забезпеченні Terrasolid

Отримані дані містять інформацію про координати стовбура дерева, його висоту й діаметр на висоті 1,3 метра. Ця інформація може бути використана для подальшого аналізу зелених насаджень, наприклад, для оцінки їхнього стану, розміщення й розвитку. Ці відомості можуть також стати в пригоді для порівняння з іншими джерелами даних або для моделювання росту й розвитку дерев у міському середовищі [9, 19, 50, 52]. Процес інвентаризації скверу складався з основних етапів, які представлені на рис. 3.26 та відповідають послідовності, що запропонована дослідженням у 2 розділі.



Рис. 3.26. Основні етапи інвентаризації скверу

Попереднє опрацювання даних. Для обробки й конвертації відомостей із лазерного сканування було обрано програмне забезпечення Faro Scene 2020, яке відоме своєю ефективністю та можливістю роботи з різноманітними форматами даних.

Підготовка інформації перед конвертацією складалася з відкриття проєкту в програмі Faro Scene 2020 та додавання файлів, що містять дані з лазерного сканування. Цей процес забезпечує належне завантаження необхідних відомостей для подальшої обробки.

Для конвертації даних у формат LAS було виконано наступні кроки:

- Відкриття вікна «Експорт» або «Зберегти як» через головне меню програми Faro Scene 2020.
- Вибір опції «LAS» зі списку доступних форматів для експорту.
- Вказання таких параметрів експорту, як: точкові хмари, кольори й метадані.
- Збереження експортованих відомостей у відповідному форматі за допомогою програми.

Ці кроки забезпечили успішну конвертацію даних у формат LAS для наступного використання в наукових дослідженнях й аналізах.

Формат LAS (LASER) — це стандартний формат для зберігання даних із лазерного сканування. Він широко використовується в геодезії, картографії, геології, археології, архітектурі й інших галузях, де потрібно представляти точкові хмари та інші дані 3D [109].

Формат LAS може містити інформацію про координати точок, їхню інтенсивність сигналу, колір (якщо він доступний), класифікацію точок (наприклад, чи вони належать до землі, будівель або рослин), а також такі метадані, як: дата й час сканування [109].

Цей формат дозволяє зберігати великі обсяги даних із лазерного сканування в структурованому й ефективному форматах, що дозволяє легко обробляти й аналізувати їх за допомогою спеціалізованих програмних засобів.

Класифікація й групування виконувались у програмному забезпеченні Terrasolid.

Terrasolid — це фахове програмне забезпечення, яке використовується для обробки й аналізу даних із лідарного сканування. Воно надає інструменти для роботи з точковими хмарами, включно з їхньою класифікацією, фільтрацією, сегментацією та іншими операціями [143].

Terrasolid має широкий спектр модулів для обробки даних LiDAR.

Нижче наводимо найпопулярніші модулі в їхньому програмному комплексі та їхні основні можливості:

- Модуль TerraScan використовується для обробки хмар точок LiDAR, включно з фільтрацією, класифікацією та корекцією даних.
- TerraModeler використовується для створення й редагування тривимірних моделей із даних LiDAR.
- Модуль TerraPhoto дозволяє інтегрувати дані LiDAR з аерофотознімками та геоданими для створення геопросторових продуктів.
- TerraMatch використовується для вирішення проблем точності й узгодження даних між різними вимірами LiDAR або між різними польотами.
- Модуль TerraSlave дозволяє розподіляти обробку даних LiDAR на кілька комп'ютерів для підвищення продуктивності.
- TerraSurvey використовується для обробки геодезичних даних та їхньої інтеграції з даними LiDAR.

У дослідженні ми використовували модуль TerraScan для класифікації й групування, тому доцільно буде більш детально його описати.

TerraScan — це один із компонентів програмного забезпечення TerraScan Suite, який розробленою компанією Terrasolid Ltd. TerraScan Suite є комплексним інструментом для обробки й аналізу даних, отриманих з лідарних сканерів. TerraScan використовується для обробки й класифікації великих обсягів відомостей про точкові хмари, які отримуємо в результаті лазерного сканування з повітря або з наземних платформ [143].

Основні функції TerraScan:

1. Класифікація точок. TerraScan надає інструменти для автоматичної й ручної класифікації точок у точковій хмарі за такими параметрами, як: висота, інтенсивність сигналу, кут нахилу тощо.

2. Групування точок. Інструменти групування дозволяють об'єднувати точки в кластери або об'єкти на основі їхньої геометрії, густоти або інших характеристик.

3. Коригування даних. TerraScan надає можливості для редагування й коригування точок, видалення артефактів і виправлення неправильностей у відомостях.

4. Візуалізація й аналіз. TerraScan має інструменти для візуалізації точкових хмар, а також для виконання різноманітних аналізів, включно з побудовою цифрових моделей рельєфу, об'єктів 3D та іншими.

5. Інтеграція з програмами. TerraScan може ефективно інтегруватися з іншими програмами геопроектингу й геоінформаційними системами для подальшого використання й аналізу даних.

Класифікація точок для інвентаризації скверу Т. Масарика в м. Ужгород складалася з таких етапів:

1. Визначення таких критеріїв класифікації, як: висота, інтенсивність сигналу та інші параметри — для автоматичного призначення класу кожній точці.

2. Використання вбудованих фільтрів і правил класифікації для автоматичного розподілу точок на основі визначених критеріїв.

3. Проведення ручної корекції класифікації для виправлення помилок і неправильно класифікованих точок.

Групування точок для інвентаризації скверу Т. Масарика в м. Ужгород складалося з таких етапів:

1. Визначення таких параметрів групування точок, як: густина й геометричне розташування.

2. Виконання автоматичного групування точок на основі вибраних параметрів за допомогою функцій TerraScan.

3. Ручна корекція групування точок проводилась у випадках, коли автоматичне групування виявлялося недостатньо точним і потребувало додаткової уваги.

У Terrasolid для сегментації стовбурів і вимірювання їхнього діаметра

можна використати такі інструменти [143]:

- «Classify Ground Points» (Класифікація ґрунтових точок), який дозволяє виділити групи точок, які належать до ґрунту, що є важливим кроком перед подальшою сегментацією стовбурів.
- «Classify Trees» (Класифікація дерев) використовується для класифікації точок, які належать до дерев, він дає можливість виділяти області з рослинністю.
- «Tree Segmentation» (Сегментація дерев) застосовується для автоматичної або напівавтоматичної сегментації точок, які належать до стовбурів, за допомогою алгоритмів обробки даних лідару.
- «Measure Trunk Diameter» (Вимірювання діаметра стовбура). Після сегментації стовбурів цей інструмент дозволяє виміряти їхні розміри, зокрема діаметр, за допомогою вибору точок та обчислення відстані між ними.
- 3D Visualization and Analysis (Візуалізація й аналіз у тривимірному просторі) дозволяє візуалізувати результати сегментації й вимірювання діаметра стовбурів у тривимірному просторі для кращого розуміння розподілу та характеристик дерев у досліджуваній області.

З метою сегментації хмари точок використовувався модуль TerraModeler, тому більш детально розглянемо його можливості.

TerraModeler є одним із ключових модулів у програмному комплексі Terrasolid і призначений для створення й редагування тривимірних моделей із даних LiDAR.

Створення моделей виконувалось за допомогою TerraModeler, що дозволяє користувачам і користувачкам створювати тривимірні моделі з точок LiDAR, які можуть бути використані для подальшого аналізу або візуалізації.

З TerraModeler можна виконувати різноманітні операції редагування моделей, а саме: додавання, видалення або переміщення об'єктів, редагування висот, зміна форми та інше. Модуль дозволяє виконувати всілякі аналізи даних: вимірювання відстаней, площ та об'ємів, а також виявлення особливостей ландшафту.

TerraModeler інтегрується з іншими модулями Terrasolid, такими як

TerraScan і TerraPhoto, що дозволяє використовувати дані з цих модулів для створення й редагування моделей.

Модуль оптимізований для роботи з великими обсягами відомостей LiDAR, що дозволяє швидко й ефективно обробляти великі набори даних.

У нашому дослідженні, згідно з рекомендаціями [88], використано панель «Trees toolbox», на рис. 3.27 зображено всі види інструментів, які містяться в ній. Використаний інструмент «Measure Trunk Diameter» зображено на рис. 3.28.

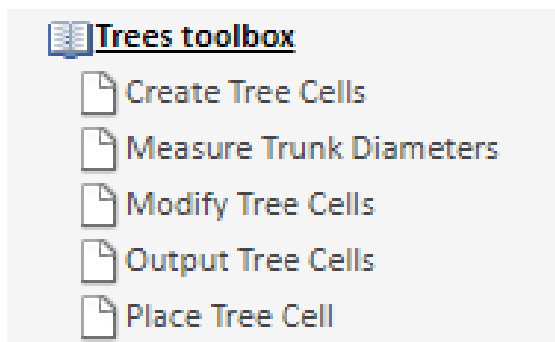


Рис. 3.27. Панель інструментів «Trees toolbox»

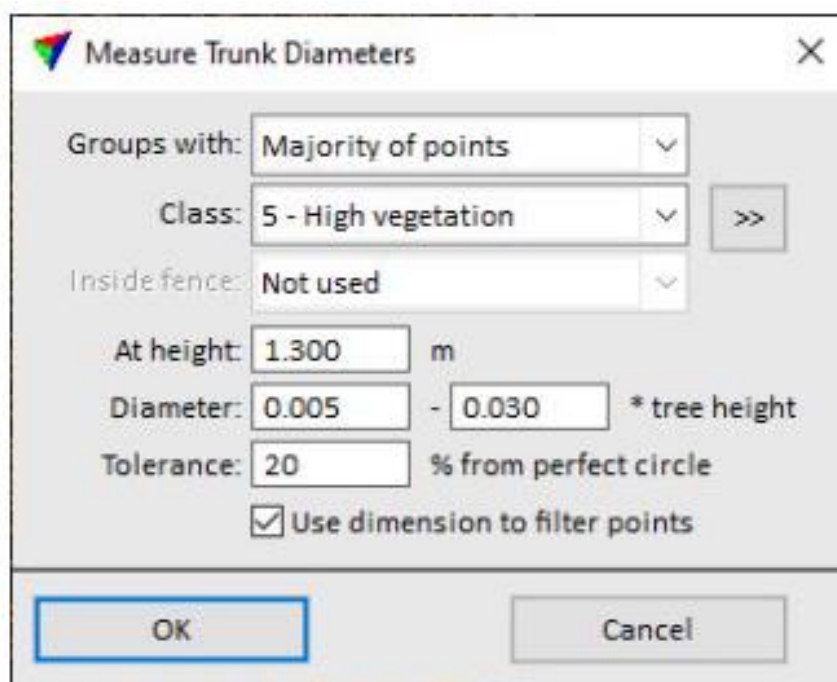


Рис. 3.28. Інструмент «Measure Trunk Diameter»

Використаний інструмент «Create Tree Cells» із моделями «Betula pendula» та «Picea abies» (рис. 3.29).

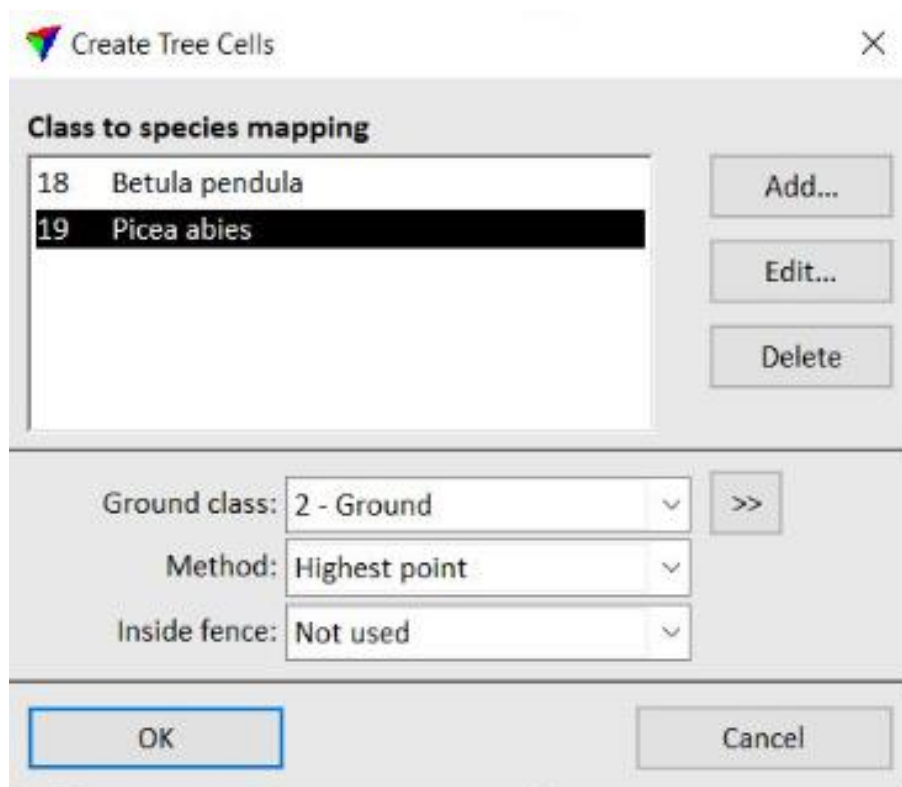


Рис. 3.29. Інструмент «Create Tree Cells»

Також важливим інструментом є «Modify Tree Cells» (рис. 3.30), він дає змогу перевіряти й змінювати елементи клітинок дерева, створені під час використання «Create Tree Cells».

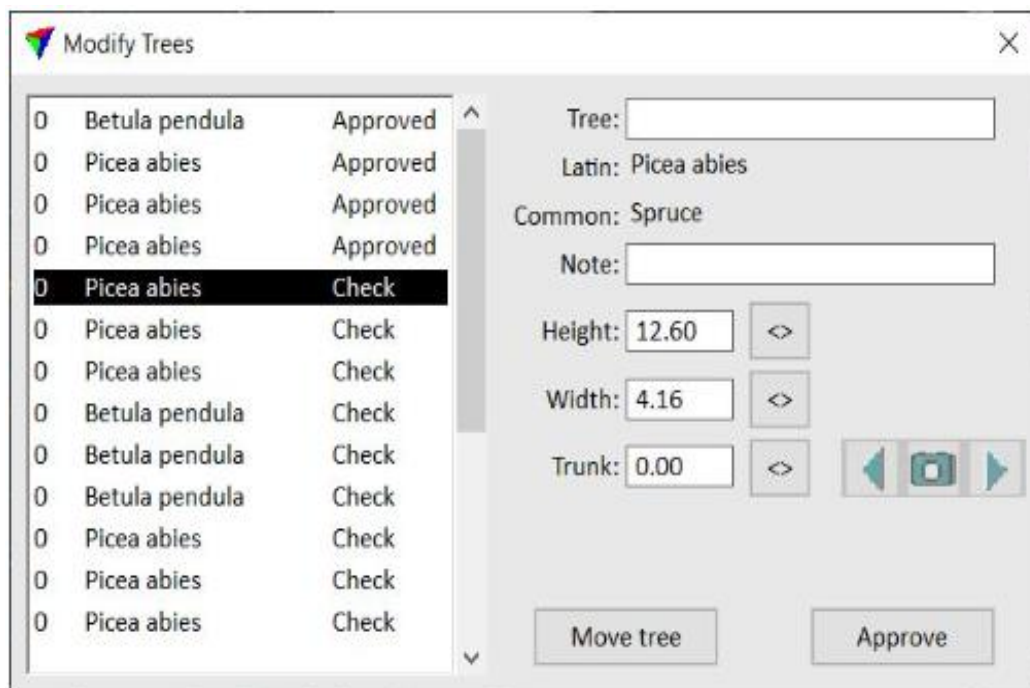


Рис. 3.30. Інструмент «Modify Tree Cells»

Запропонований тип робіт можна виконати і в інших програмних середовищах — таких як ArcGIS.

ArcGIS — це комплексне програмне забезпечення ГІС, яке розробляється компанією Esri. Воно складається із широкого набору інструментів для збору, обробки, аналізу, візуалізації й розповсюдження геопросторової інформації [107].

ArcGIS має різні компоненти й продукти, які можуть бути використані для всіляких завдань [107]:

- ArcGIS Desktop — це набір програм, включно з ArcMap та ArcGIS Pro, призначений для створення, редагування, аналізу й візуалізації геопросторових даних на робочому столі.
- ArcGIS Online — це хмарна платформа, яка дозволяє створювати, редагувати й ділитися картами та інформацією ГІС через веббраузер .
- ArcGIS Enterprise — це корпоративна версія платформи ArcGIS, яка може бути розгорнута на власних серверах організації та надає розширені можливості для керування даними та безпекою.
- ArcGIS Pro — це новітня програма для роботи з геопросторовою інформацією, яка пропонує розширені можливості для 2D -, 3D-аналізу й візуалізації відомостей.

У програмі ArcGIS можна працювати з хмарами точок, зокрема з даними, отриманими з лідару. Для роботи з хмарами точок в ArcGIS можна використовувати такі компоненти та інструменти [107]:

- LAS Dataset — це спеціальний формат даних в ArcGIS, який дозволяє ефективно зберігати й обробляти великі обсяги даних лазерного сканування. Завдяки LAS Dataset можна імпортувати, відображати й аналізувати хмари точок в ArcGIS.
- LAS Dataset tools. ArcGIS має ряд інструментів, призначених для роботи з LAS Dataset tools. Ці інструменти дозволяють виконувати різні операції, а саме: фільтрацію, класифікацію, візуалізацію й аналіз.

- 3D Analyst Extension — це розширення для ArcGIS, яке додає можливості роботи з тривимірними даними. З його допомогою можна відображати й аналізувати хмари точок у тривимірному просторі, створювати й аналізувати поверхні, моделі та інші об'єкти.
- Classification tools. У ArcGIS є інструменти для класифікації даних лазерного сканування, які дозволяють автоматично визначати клас кожної точки в хмарі. Ці інструменти використовують різні методи й алгоритми: методи на основі висоти, форми й інтенсивності сигналу.

На рис. 3.31 зображено процес класифікації хмари точок у програмному продукті ArcGIS.

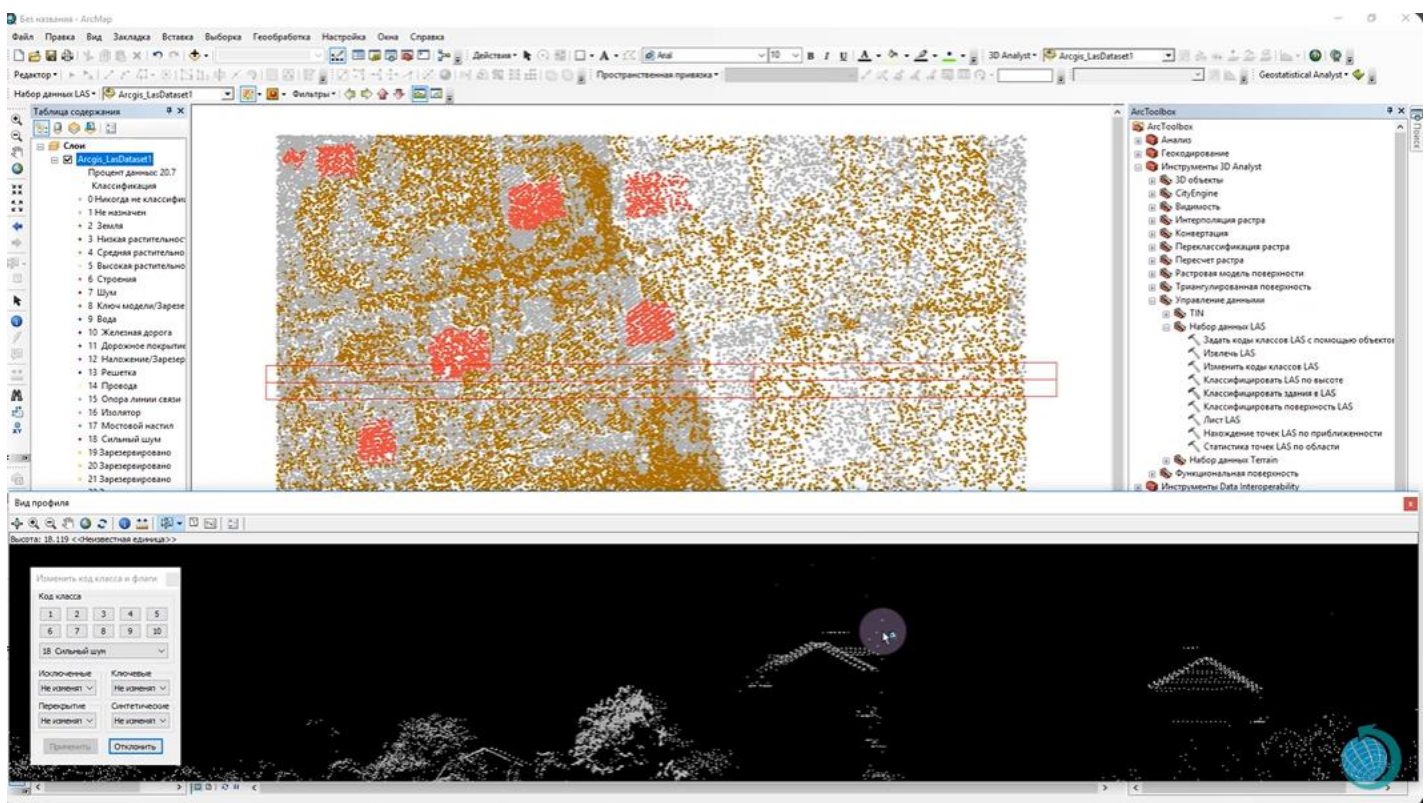


Рис. 3.31. Класифікація хмари точок у програмному продукті ArcGIS

Для вимірювання діаметра стовбура на основі хмари точок у середовищі ArcGIS існують кілька інструментів, що дозволяють здійснити це завдання з точністю й ефективністю:

- Extract Values to Points (Витягнути значення до точок) дозволяє

отримати значення з растрових даних (наприклад, цифрових моделей висот) у вказаних точках. Використовуючи цей інструмент, ми можемо витягнути значення висоти з точок, що представляють стовбури дерев, і провести подальше обчислення діаметра на основі цих значень.

- **Near (Близькість).** Цей інструмент визначає найближчий об'єкт для кожної точки у вказаному шарі, що допомагає визначити відстань між ними. Отже, можемо виміряти діаметр, обчисливши відстань між точками, які представляють крайні точки стовбура.
- **Buffer (Буфер)** використовується для створення буферних зон навколо об'єктів. Застосування буферизації до кожної точки, що представляє стовбур дерева, дозволяє створити зону навколо нього, у межах якої можна виміряти діаметр.
- **Spatial Join (Просторове об'єднання)** дозволяє об'єднувати атрибути одного шару з атрибутами іншого на основі просторових відносин. Застосовуючи Spatial Join, можемо обчислити діаметр стовбура, додавши висоту точок у хмарі точок, що класифіковані як дерева.

Також можна використати інструмент «Minimum Bounding Geometry», він забезпечує засіб для створення мінімально обмежуваного прямокутника (MBR) або відносно прямокутної області (MBR) для геометрії об'єктів у векторному шарі.

«Minimum Bounding Geometry» можна використати для вимірювання мінімальних обмежувальних прямокутників для набору точок, що представляють стовбури дерев або інші об'єкти. Після створення мінімального обмежувального прямокутника можна виміряти його геометричні властивості: ширину, висоту й довжину — щоб оцінити розміри об'єктів.

Оскільки цей вид дослідження можна виконати як у TerraSolid, так і в ArcGIS, то доцільно порівняти ці програмні продукти. Порівняльні характеристики, представлені в таблиці 3.6, дають розуміння переваг і недоліків

кожної з програм.

Таблиця 3.6

Порівняльні характеристики програмних продуктів TerraSolid та ArcGIS

Характеристика	ArcGIS	TerraSolid
1	2	3
Тип програмного продукту	ГІС	САПР
Призначення	Комплексна платформа ГІС, яка складається з різноманітних інструментів для роботи з геопросторовими даними.	Спеціалізоване програмне забезпечення для обробки лідарних даних.
Функціональність	Широкий спектр функцій, включно із збором, аналізом, візуалізацією та управлінням геопросторовими даними.	Інструменти для точного вимірювання, класифікації й аналізу лідарних хмар точок.
Користувачі / користувачки та ринки	Використовується в різних галузях, включно з географічною наукою, урядовими установами, комерційними підприємствами тощо.	Спрямований на спеціалізованих користувачок і користувачів, які працюють із лідарними даними.
Інтеграція з іншими програмами	Має широку підтримку стандартів і можливостей інтеграції з іншими програмами й системами.	Може інтегруватися з іншими програмами, але переважно з фаховим програмним забезпеченням.
Ціна	Ціни можуть варіюватися залежно від виду ліцензії, типу користувача й обсягу функцій.	Ціни також можуть варіюватися залежно від обсягу даних і типу ліцензування.

До переваг ArcGIS віднесемо:

1. Універсальність. ArcGIS є широко використовуваним ГІС, що має величезний функціонал для роботи з геопросторовими даними, включно з хмарами точок.

2. Інтеграція. Має вбудовані інструменти для обробки й аналізу різних типів геоданих і може інтегруватися з іншими системами.

3. Комітет користувачів і користувачок: Має велику користувацьку спільноту й підтримку, що дозволяє швидко знаходити вирішення для проблем.

До недоліків ArcGIS віднесемо вартість, оскільки ліцензії на програмні продукти ArcGIS досить високі (рис. 3.32) [89].

ArcGIS Online GIS Professional Basic, Annual, Subscription	1	52020 грн
ArcGIS Online GIS Professional Standard, Annual, Subscription	1	205700 грн
ArcGIS Online GIS Professional Advanced, Annual, Subscription	1	282200 грн

Рис. 3.32. Вартість ліцензії на програмні продукти ArcGIS

Грунтуючись на особливості дослідження, до недоліків можемо ще додати обмеження в роботі з хмарами точок, тому що деякі функції є лімітованими порівняно зі спеціалізованими програмами.

До переваг TerraSolid належать:

1. Спеціалізація на обробці даних лазерного сканування, що дозволяє отримувати високоякісні результати в цій галузі.
2. Точність та швидкість, які дозволяють здійснювати точне вимірювання й аналіз даних лазерного сканування.
3. Гнучкість, оскільки TerraSolid має широкий спектр інструментів і можливостей для налаштування обробки даних лазерного сканування.

До недоліків можна віднести:

1. Вартість: Як і ArcGIS, вартість ліцензій і підтримки для TerraSolid є досить високою (рис. 3.33) [144].

Велич Одноразовий платеж + щорічна плата за підтримку та оновлення	Підписка на 12 місяців Поточний	Академічний абонемент для досліджень та освіти
5400 євро Поточний	1620 євро Поточний	810 євро Поточний

Рис. 3.33. Вартість ліцензії на програмні продукти TerraSolid [3]

2. Менша функціональність. Порівняно з ArcGIS TerraSolid досить обмежений у своєму функціоналі.

Використання TerraSolid у проведеному нами дослідженні є більш доцільним, оскільки хмара точок була даними для опрацювання, а описаний продукт має дуже широкий функціонал у цій сфері.

Також у процесі практичної реалізації й виконання камеральних робіт була систематизована етапність робіт інвентаризації ЗН автоматизованими методами. Цей перелік робіт представлений у вигляді блок-схеми (рис. 3.34).

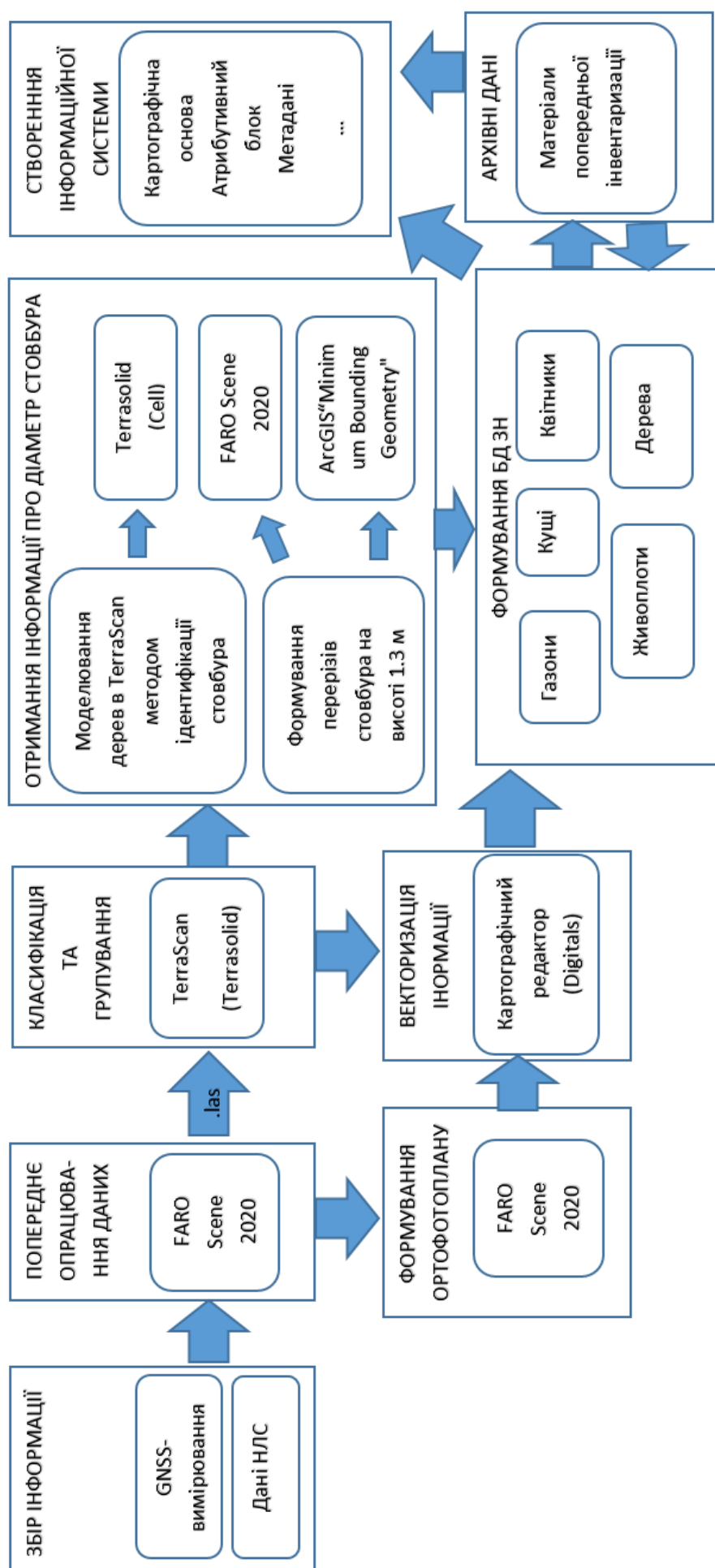


Рис. 3.34. Структурна блок-схема інвентаризації ЗН автоматизованими методами

3.3. Створення бази даних для території скверу Т. Масарика

Унаслідок проведення повного циклу робіт із інвентаризації зелених насаджень скверу Т. Масарика, що містив геодезичне забезпечення, наземне лазерне сканування й камеральну обробку, було сформовано просторово-атрибутивну базу даних, яка стала основою для кадастрового обліку зелених насаджень. Використання наземного лазерного сканера FARO Focus S150 дозволило отримати високоточну хмару точок, з якої після класифікації в програмному забезпеченні Terrasolid були виокремлені дерева, поверхня й інші характерні об'єкти. Під час інвентаризації здійснювалися такі роботи:

- Визначення загальної площі, зайнятої такими об'єктами зеленого господарства, як: дерева, чагарники, квітники, газони, стежки тощо [50, 52].
- Визначення кількості дерев і чагарників за типом насаджень, видами, віком, діаметром на висоті 1,3 м стовбурів дерев та оцінка їхнього стану утримання [50, 52].

Окремі обов'язкові роботи будуть виконані відповідними фахівцями й фахівчинями з використанням інформаційних технологій і сформованої бази даних ЗН:

- Визначення вартості об'єкта загалом і окремих його ділянок [50, 52].
- Вчасне внесення змін, які відбулися в зелених насадженнях, у креслення, паспорти об'єктів зеленого господарства й зведення даних про рослинність населеного пункту [15, 27, 28].

На основі Класифікатора інформації, яка відображається на топографічних планах масштабів 1:5 000, 1:2 000, 1:1 000, 1:500 [28] та Інструкції з інвентаризації зелених насаджень у населених пунктах України [38] складено перелік ознак, що характеризують об'єкти зелених насаджень із урахуванням наявних вимог до виконання топографічного знімання й до інформації, яка використовується під час ведення інвентаризації рослинності. У таблиці 3.7 представлено список ознак, що характеризують об'єкти зелених насаджень, який доповнений такими, що характеризують об'єкти класифікації, згідно з колонкою 4 переліку.

Таблиця 3.7

Перелік ознак, що характеризують об'єкти зелених насаджень

Назва характеристики зелених насаджень під час проведення інвентаризації		Тип даних	Порядковий номер ознаки згідно з чинною класифікацією топографічної інформації	Пропонований номер класифікації	Відомість обліку				
№ з/п	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Номер за абрисом	облікової ділянки	long integer	119		√	√	√	√	√
	куртин, групи	long integer		167	√	√	√	√	√
Тип газонів		text		175					√
Вид насаджень		text		168	√	√		√	
Порядковий номер запису		Long integer		169	√	√	√		
Вид рослинності		text	62		√	√	√		
Тип живоплоту		text		174			√		
Протяжність		float	2				√		
Вік		float		170	√	√	√	√	√
Діаметр на висоті 1,3 м		float	60		√				
Висота		float	113		√				
Кількість		float		172	√	√			
Повнота насаджень		float		175	√	√			
Якісний стан		text		171	√	√	√	√	√
Дата вимірів		date	130		√	√	√	√	√
Балансова вартість		float		173	√	√	√	√	√
Примітка		text		176	√	√	√	√	√
Особливо цінні породи		text		177	√	√			
Балансоутримувач		text		178	√	√	√	√	√
Код АТО		text		179	√	√	√	√	√
Назва вулиці		text	121		√	√	√	√	√

Унаслідок проведених робіт з інвентаризації парку вдосконалено перелік ознак, які характеризують об'єкти класифікації, смислових значень ознак і їхніх кодових позначень у частині інформації про вид рослинності. Визначено, що він повинен бути доповненим відомостями про типи газонів, про якісний склад ЗН і тип протяжності живоплотів згідно з таблицею 3.8.

Таблиця 3.8

**Перелік ознак, які характеризують об'єкти класифікації ЗН,
смислових значень ознак і їхніх кодових позначень**

Код ознаки	Найменування ознаки, яка характеризує об'єкт класифікації	Смислове значення ознаки характеристик	Коди смислового значення
175	Тип газонів		
		партерний	175001
		звичайний	175002
		луговий	175003
171	Якісний стан		
		добрий	171001
		задовільний	171002
		незадовільний	171003
174	Тип протяжності		
		однорядний	174001
		дворядний	174002
		формований	174003
		неформований	174004

Загальний перелік найменувань об'єктів класифікації, класифікаційних угруповань та їхніх кодових позначень із метою проведення інвентаризації зелених насаджень представлено в таблиці 3.9.

Таблиця 3.9

**Пропозиції щодо вдосконалення переліку найменувань об'єктів
класифікації, класифікаційних угруповань і їхніх кодових позначень**

Код об'єкта	Найменування класифікаційного угруповання	Перелік ознак, які характеризують об'єкти класифікації
71133000	Дерева під час подеревної зйомки	62, 113, 119, 130, 167, 168, 170, 172, 173, 171, 175
71200000	Чагарникова рослинність	62, 119, 130, 167, 168, 169, 170, 171, 172, 173
71226000	Живоплоти	2, 174, 167, 169, 62, 170, 171, 173, 174
71321300	Клумби	119, 130, 167, 170, 171, 173, 175
71321100	Газони	62, 119, 130, 167, 170, 171, 173, 175

Згідно з Інструкцією з інвентаризації зелених насаджень у населених пунктах України [38] й на основі скоригованого графічного матеріалу з повною інформацією та записами, зробленими на абрисі в робочому щоденнику, а також інформації від геодезичних, інструментальних зйомок та інших джерел, які були зібрані протягом підготовчого періоду, формується інвентаризаційний план об'єкта. Дані, які вказано, зображені на рисунку 3.35.

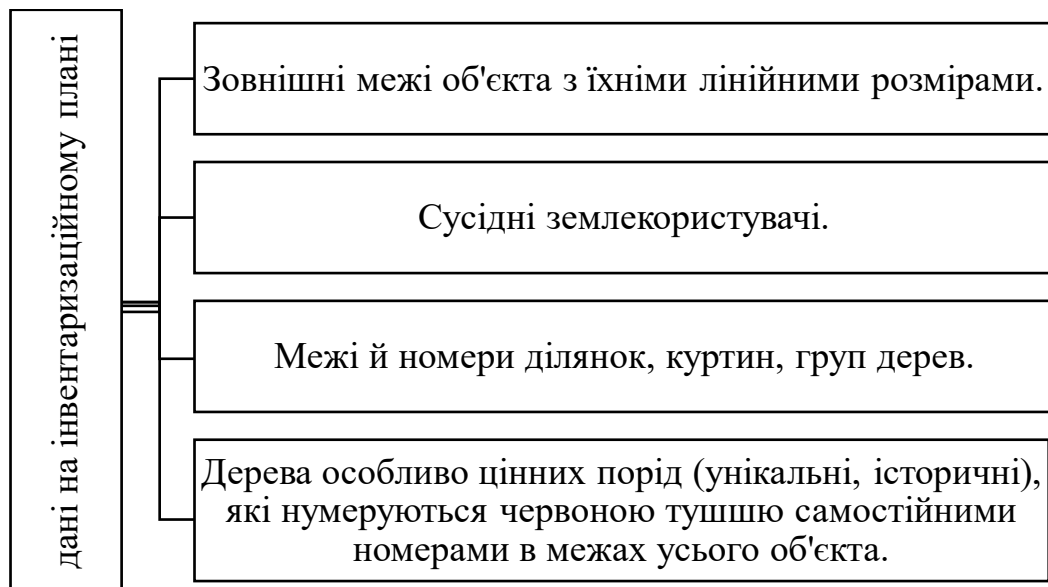


Рис. 3.35. Дані, що вказуються в інвентаризаційному плані

Основою для формування бази даних зелених насаджень скверу Т. Масарика став кадастровий план, створений на основі результатів наземного лазерного сканування (Рис. 3.36, 3.37). Він забезпечив точне відображення меж території, просторове розташування дерев, чагарників, доріжок, малих архітектурних форм та інших елементів благоустрою. Завдяки високій деталізації й точності сканування вдалося сформувати достовірну картографічну основу, на яку було нанесено всі об'єкти обліку з прив'язкою до системи координат.

У цьому випадку кадастровий план виконує не лише функцію графічного документа, а й слугує структурною базою для просторово-атрибутивної інформації, яка використовується в процесі подальшого аналізу, моніторингу й ухвалення рішень щодо управління територією скверу.



Рис. 3.36. Умовні позначення санітарного стану зелених насаджень

Під час створення кадастрового плану скверу можна виокремити кілька ключових переваг:

1. Лазерне сканування забезпечило точне визначення меж скверу, включно з його рельєфом, висотою дерев та іншими особливостями. Це допомагатиме уникнути помилок у встановленні кордонів і створюватиме основу для точного планування.

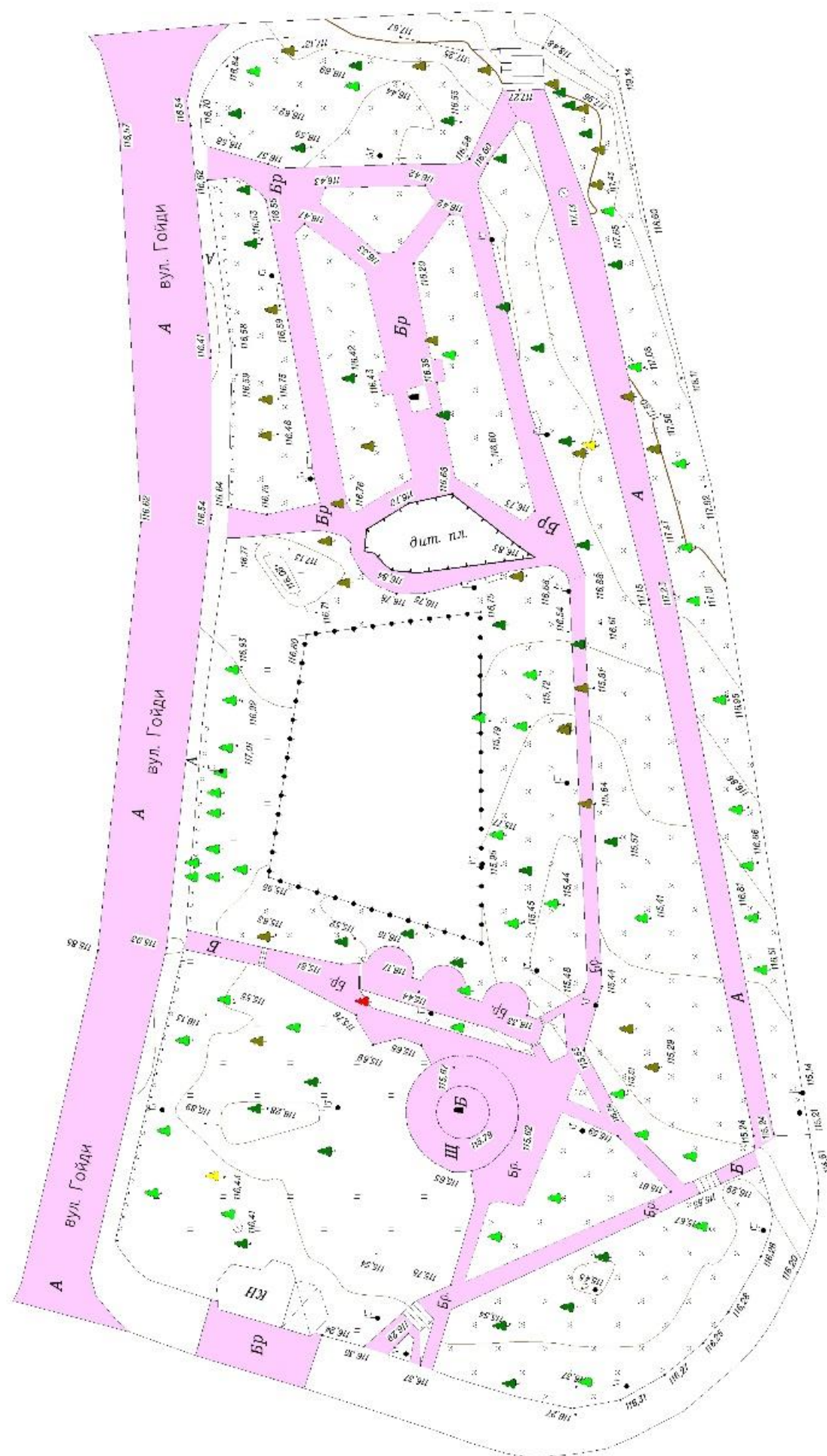


Рис. 3.37. План інвентаризації зелених насаджень скверу Т. Масарика в м. Ужгород

2. НЛС дало змогу ідентифікувати й картографувати дерева, чагарники й інші зелені насадження, що є важливими складовими скверу. Ця інформація стала частиною кадастрового плану, який надалі буде використовуватися для планування й збереження.
3. Результати лазерного сканування допомагають виявити таку наявну інфраструктуру в межах скверу, як: доріжки, лавки, майданчики, освітлення тощо. Це сприятиме більш ефективному зонуванню території й плануванню нових об'єктів.
4. Кадастровий план, створений за допомогою лазерного сканування, може легко оновлюватися, оскільки LiDAR-дані дозволяють проводити регулярний моніторинг змін у сквері. Це важливо для довгострокового управління й збереження зелених насаджень.
5. Кадастровий план, створений на основі результатів лазерного сканування, буде інтегрований у геопортал територіальної громади, надаючи громадськості доступ до інформації про сквер. Це сприяє прозорості в управлінні й залученню громадськості до процесу ухвалення рішень.

Систематизація даних і приведення до уніфікації дало можливість відобразити розташування й атрибутивну інформацію про дерева, газони, живоплоти та квітники (рис. 3.38 — 3.41).

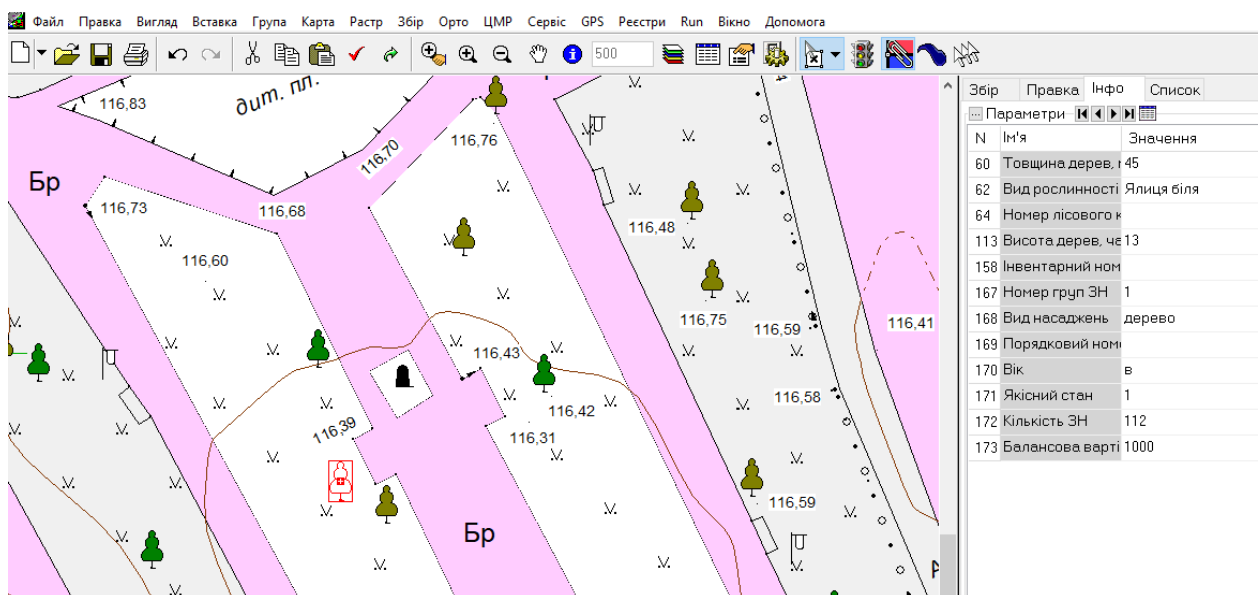


Рис. 3.38. Відображення вибраного елемента шару «Дерева» в ПЗ Digital

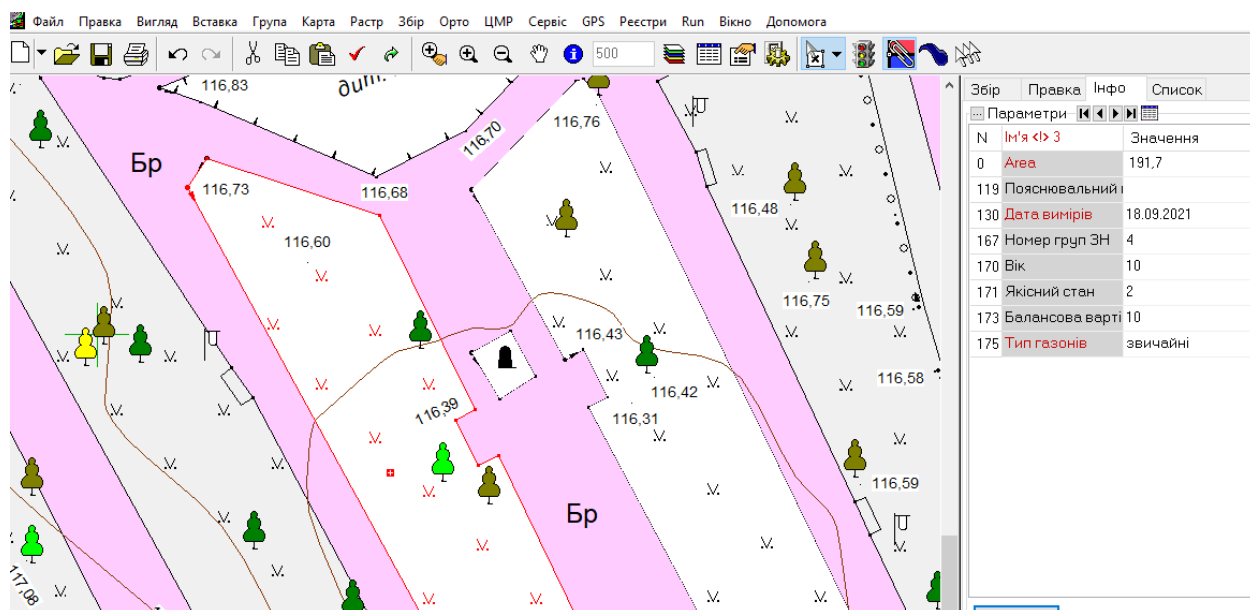


Рис. 3.39. Відображення вибраного елементу шару «Газони» в ПЗ DigitalS

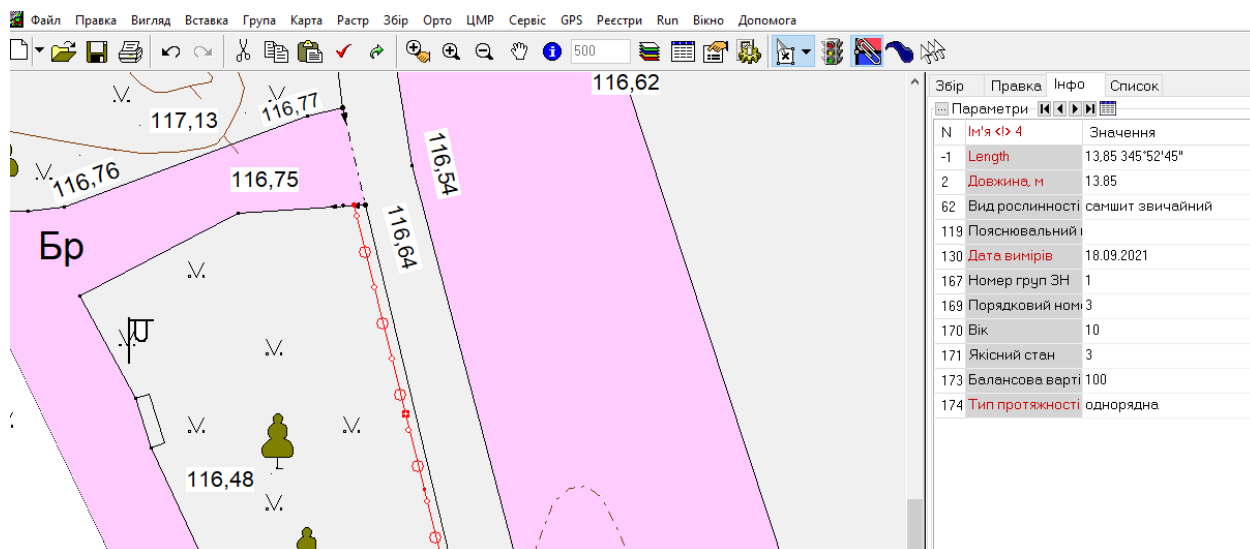


Рис. 3.40. Відображення вибраного елементу шару «Смуги чагарників і живоплотів» у ПЗ DigitalS

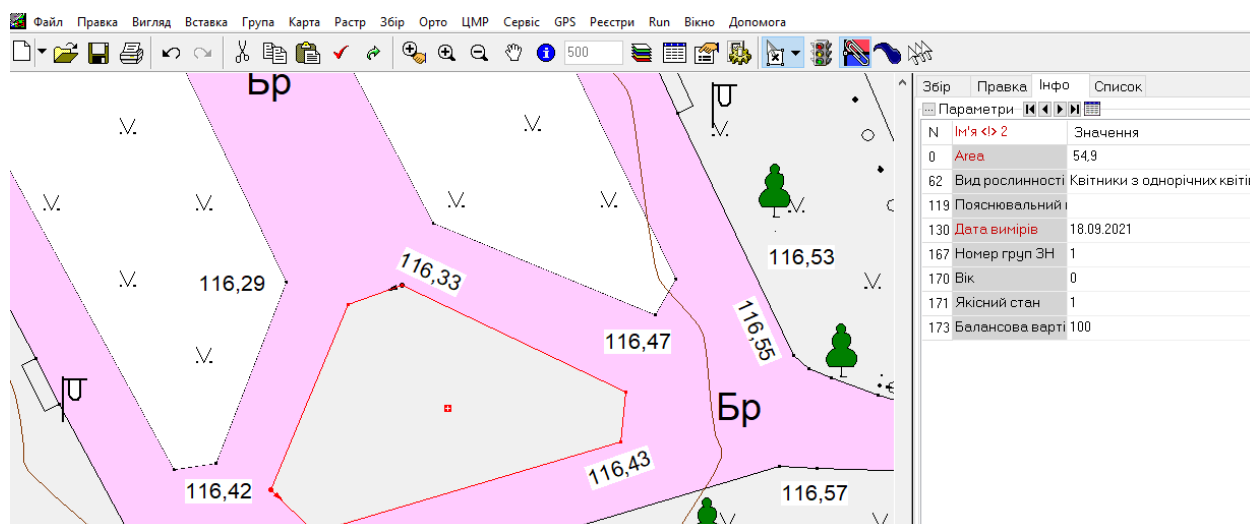


Рис. 3.41. Відображення вибраного елементу шару «Клумби» в ПЗ DigitalS

Отримані дані були конвертовані у формат «Shapefile» з метою демонстрації можливості подальшого опрацювання з використанням сучасних геоінформаційних систем, зокрема з урахуванням атрибутивної інформації (рис. 3.42, 3.43). Також були сформовані такі шари для основних об'єктів зеленого господарства: дерева, газони, квітники, живоплоти, чагарники.



Рис. 3.42. Відображення сформованої бази даних у QGIS

Кожному об'єктові були присвоєні унікальні ідентифікатори, санітарна категорія, видова належність, вік, діаметр, висота, якісний стан та інші атрибути згідно з розширеною класифікацією (рис. 3.43, 3.44).

Публічна візуалізація цієї бази даних може бути реалізована за допомогою більшості повноцінних ГІС платформ, що мають функціонал інтерактивної роботи з 3D-моделями.

Газони — Features Total: 14, Filtered: 14, Selected: 0

Площа	Номер	Вік	Якісний	Балансова	Дата	Пояснюваль	Тип
191,67	4	10,000000	2	10	18.09.2021	NULL	звичайні
9,86	5	10,000000	2	10	18.09.2021	NULL	звичайні
25,13	6	10,000000	2	10	18.09.2021	NULL	звичайні
623,48	7	10,000000	2	10	18.09.2021	NULL	звичайні
373,85	8	10,000000	2	10	18.09.2021	NULL	звичайні
213,21	9	10,000000	2	10	18.09.2021	NULL	звичайні
474,84	10	10,000000	2	10	18.09.2021	NULL	звичайні
967,51	11	10,000000	2	10	18.09.2021	NULL	звичайні

Рис. 3.43. Відображення частини атрибутивної інформації шару «Газони» в QGIS

Дерева листяні 1 категорія — Features Total: 81, Filtered: 81, Selected: 0

Товщина	Вид	Номер	Висота	інвентарні омер.	Вид_1	Порядковий	Вік	Якісний	ількіст	Балансова
22,38	Ялиця	NULL	12	39	1	дерево	99	0 1	112	1000
20,5	Туя західна	NULL	12	40	1	дерево	100	0 1	112	1000
13	Туя західна	NULL	13	38	1	дерево	98	0 1	112	1000
10	Туя західна	NULL	14	36	1	дерево	96	0 1	112	1000
10	Ялиця	NULL	8	37	1	дерево	97	0 1	112	1000
16	Горіх грецький	NULL	6	NULL	1	дерево	NULL	0 1	112	1000
33	Ялина європей...	NULL	13	44	1	дерево	104	0 1	112	1000
25	Ялиця	NULL	13	NULL	1	дерево	NULL	0 1	112	1000

Рис. 3.44. Відображення частини атрибутивної інформації шару «Зелені насадження» в QGIS

На основі цієї інформації здійснено ідентифікацію зелених насаджень, визначено їхні координати, висоти, діаметри на висоті 1,3 м, санітарний стан та іншу необхідну інформацію [50, 52]. Результати подеревного обліку дозволили сформувати атрибутивну частину бази даних відповідно до чинних інструкцій і класифікаторів.

Отже, база даних, створена в результаті цієї роботи, не лише задовольняє вимоги інвентаризації, дозволяє автоматизувати процес створення облікових звітів і систематизувати окремі показники ЗН, а й може бути інтегрована до муніципального кадастру для ухвалення рішень щодо догляду, реконструкції й розвитку об'єктів зеленого господарства.

Висновок до третього розділу

Цей розділ зосереджений на особливостях інвентаризації зелених насаджень автоматизованим методом наземного лазерного сканування.

1. Досліджено НЛС, їхню класифікацію, характеристики, методи вимірювання довжини й складові. Визначено класи похибок, які впливають на результати вимірювань. Обчислено похибки дослідження: максимальна похибка точок сканування становила 46,7 мм, а середня квадратична похибка — 24,6 мм за мінімального перекриття 3,9 %. Ця точність задовільна з урахуванням складності місцевості.

2. Виконано камеральні роботи й побудовано перерізи, визначено діаметри стовбурів дерев, що знаходяться в сквері Т. Масарика в м. Ужгород. Досліджено програмні продукти, які використовувались для цього виду робіт.

3. Проведено порівняння розташування дерев, з визначеним діаметром і висотою, автоматизованими методами з матеріалами класичної інвентаризації зелених насаджень, створено детальний план.

4. Вказано результати дослідження помилки визначення діаметра стовбура на висоті 1,3 метра в діапазоні — 2,3 – 3,4 см з коефіцієнтом відповідності 96%.

5. Складено інвентаризаційний план зелених насаджень парку ім. Т. Масарика й створено інформаційну базу даних, яка може бути інтегрована до містобудівного й інших видів кадастрів для ухвалення рішень щодо догляду, реконструкції й розвитку об'єктів зеленого господарства.

ВИСНОВКИ

Виконані дослідження містять теоретичні узагальнення й практичні рекомендації щодо удосконалення методики інвентаризації зелених насаджень для потреб кадастру із застосуванням наземного лазерного сканування, що дало змогу обґрунтувати пропозиції й рекомендації методичного та практичного спрямування.

1. Проаналізовано поточний стан і тенденції в зборі інформації про просторове розташування дерев і чагарників. Оцінено сучасні методи візуалізації цієї інформації, що допомогло визначити оптимальний набір інструментів для якісної інвентаризації зелених насаджень для кадастрових потреб. Розроблено рекомендації щодо обсягу й структури інформації для просторового моделювання зелених насаджень, що дало можливість уніфікувати дані для використання кадастрами природних ресурсів.

2. Проведено дослідження наявих інформаційних систем, де виявлено, що кожен орган місцевого самоврядування використовує власну системну платформу, що ускладнює стандартизацію. У зв'язку з відсутністю єдиних вимог до змісту й формату порталів, запропоновано врегулювати їх на нормативному рівні, що спростить обмін даними між різними відомствами й організаціями.

3. Систематизовано переваги використання наземного лазерного сканування для кадастрових потреб. Ця технологія забезпечує точні тривимірні дані, що підвищує якість обліку й сприяє ефективному плануванню озеленення.

4. Розроблено методологію організаційної структури бази даних зелених насаджень, яка на основі інвентаризації й архівних даних, слугує сучасним підходом до планування територій громад. Методологія спрощує процес збору й обробки даних, дозволяючи адаптувати їх до потреб користувачів та користувачок і сприяючи стандартизації отримання інформації про зелені насадження.

5. Розроблено алгоритм систематизованого підходу до виконання інвентаризації зелених насаджень. Проаналізовано наземне лазерне сканування (НЛС), його класифікацію, характеристики, методи вимірювання, та окреслено

клас похибок, що впливає на точність вимірювань.

6. Визначено діаметри стовбурів дерев у сквері Т. Масарика в Ужгороді та порівняно їх із результатами класичної інвентаризації, виявлено прийнятну точність. Результати дослідження помилки визначення діаметра стовбура на висоті 1,3 метра в діапазоні — 2,3 – 3,4 см з коефіцієнтом відповідності 96%.

7. Складено інвентаризаційний план зелених насаджень парку ім. Т. Масарика та створено інформаційну базу даних, яка може бути інтегрована до містобудівного й інших видів кадастрів для ухвалення рішень щодо догляду, реконструкції й розвитку об'єктів зеленого господарства.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бабушка, А. В., & Бурштинська, Х. В. (2019). Авіаційне лазерне сканування: навч. посібник. Львів: Видавництво Львівської політехніки. 116 с.
2. Бакова, К., & Карпінський, Ю. (2022). Досвід інвентаризації зелених насаджень вулично-дорожньої мережі міста Одеси. Містобудування та територіальне планування, (79), 26-36. DOI: <https://doi.org/10.32347/2076-815x.2022.79.26-36>
3. Бідолах, Д. І., & Кузьович, В. С. (2018). Електронна карта парку, як результат сучасного підходу до інвентаризації зелених насаджень. Матеріали Міжнародної науковопрактичної конференції" Менеджмент результативної трансформації аграрної сфери економіки України", 12 червня 2018 р, 11-13.
4. Бідолах, Д. І., & Лакида, П. І. (2019). Інвентаризація зелених насаджень з використанням сучасних інформаційних технологій. Лісове і садово-паркове господарство, (16).
5. Бідолах, І., & Кузьович, В. (2016). Дистанційне дослідження об'єктів садово-паркового господарства з використанням дронів. *Український журнал лісівництва та деревинознавства*, 255, 201–209.
6. Бурак, О. М. (2014). Проблеми і перспективи розвитку сфери озеленення в Україні. Науковий вісник Херсонського державного університету. Серія: Економічні науки, (9 (3)), 154-157. URL: [http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?I21DBN=LINK&P21DBN=UJRN&Z21ID=&S21REF=10&S21CNR=20&S21STN=1&S21FMT=ASP_meta&C21COM=S&2_S21P03=FILA=&2_S21STR=Nvkhdu_en_2014_9\(3\)__38](http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?I21DBN=LINK&P21DBN=UJRN&Z21ID=&S21REF=10&S21CNR=20&S21STN=1&S21FMT=ASP_meta&C21COM=S&2_S21P03=FILA=&2_S21STR=Nvkhdu_en_2014_9(3)__38)
7. Бурштинська, Х. В., & Декалюк, Я. О. (2021). Моніторинг хвойних лісів з використанням даних дистанційного зондування (на прикладі Тухлянського лісгоспу). *Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва: збірник наукових праць Західного геодезичного товариства УТГК*, 2 (42), 99–108.
8. Бурштинська, Х., Мазур, А., Галочкін, М., Шило, Є., & Заяць, І. (2022). Використання зображень, отриманих з БПЛА, для побудови ЦМР прируслових територій зі складними гідроморфологічними характеристиками. Геодезія,

картографія і аерофотознімання, 95, 53–64.

DOI: <https://doi.org/10.23939/istcgcap2022.95.053>

9. Ваш, Я. (2023). Особливості інвентаризації зелених насаджень автоматизованими методами наземного лазерного сканування. *Геодезія, картографія і аерофотознімання*, 98, 24–31. DOI: <https://doi.org/10.23939/istcgcap2023.98.024>

10. Ваш, Я. (2025). Інтеграція даних про зелені насадження у стратегічну екологічну оцінку просторового планування території. *Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва: збірник наукових праць Західного геодезичного товариства УТГК*, 1 (45), 102–112. DOI: www.doi.org/10.33841/1819-1339-1-49-264-271

11. Ваш, Я. (2025). Формування інформаційної бази кадастру для зелених насаджень: сучасні методи та стандарти. *Український журнал прикладної економіки та техніки*, 10.(1), 76-81. DOI: <https://doi.org/10.36887/2415-8453-2025-1-13>. DOI: <https://doi.org/10.36887/2415-8453-2025-1-13>

12. Ваш, Я. І. (2023). Алгоритм систематизованого підходу виконання інвентаризації об'єктів благоустрою. *Геофорум-2024: матеріали міжнародної науково-технічної конференції*, м. Львів, Брюховичі, 10–12 квітня 2024 р., 163–166.

13. Ваш, Я. І., & Губар, Ю. П. (2022). Методи оптимізації оглядового простору при виконанні наземного лазерного сканування. *Географічні аспекти просторової організації території, суспільства та збалансованого природокористування*: матеріали II науково-практична конференція студентів, аспірантів і молодих вчених, м. Ужгород, 25-27 травня 2022 р., 204–209.

14. Ваш, Я. І., & Губар, Ю. П. (2022). Особливості визначення часток земельних ділянок прибудинкових територій. *Актуальні питання землекористування та туризму в контексті сталого розвитку*: матеріали всеукраїнської студентської науково-практичної конференції, 18 травня 2022 р., 123–126.

15. Ваш, Я. І., & Губар, Ю. П. (2023). Методологія планування наземного лазерного сканування в урочищі Чорний мочарь смт Солотвино. *Географічні*

аспекти просторової організації території, суспільства та збалансованого природокористування: матеріали IV науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених, м. Ужгород, 24-26 травня 2023 р., 214–218.

16. Ваш, Я. І., Губар, Ю. П., & Калинич, І. В. (2021). Інвентаризація об'єктів садово-паркового господарства на урбанізованих територіях. *Геофорум-2021: матеріали міжнародної науково-технічної конференції*, Львів, Брюховичі, Яворів, 9–11 червня 2021 р., 43–46.

17. Ваш, Я. І., Каблак, Н. І., & Труш, Р. В. (2023). Використання наземного лазерного сканування для технічного нагляду об'єкта капітальної реконструкції. *Нові технології в геодезії, землевпорядкуванні та природокористуванні: матеріали XI міжнародної науково-практичної конференції*, м. Ужгород, 26-28 жовтня 2023 р., 61–65.

18. Ваш, Я., & Губар, Ю. (2022). Метод оптимізації вимірювань наземним лазерним сканером зелених насаджень парку ім. Т. Масарика м. Ужгород. *GeoTerrace-2022: міжнародна науково-технічна конференція молодих вчених*, м. Львів, 03-05 жовтня 2022 року. Львів. DOI:10.3997/2214-4609.2022590048

19. Ваш, Я., & Губар, Ю. (2023). Формування 3D-моделей стовбурів дерев у сквері ім. Т. Масарика в Ужгороді, побудованих за матеріалами TLS, наземної фотограмметрії та їхнє поєднання. *GeoTerrace-2023: міжнародна науково-технічна конференція молодих вчених*, м. Львів, 02-04 жовтня 2023 р. DOI:10.3997/2214-4609.2023510039

20. Верховна Рада України. (1992). Про природно-заповідний фонд України : Закон України від 16 червня 1992 р. № 2456-XII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2456-12#Text>

21. Верховна Рада України. (1994). Лісовий кодекс України: Закон України від 21 січня 1994 р. № 3852-XII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3852-12>

22. Верховна Рада України. (2005). Про благоустрій населених пунктів: Закон України від 06 вересня 2005 р. № 2807-IV. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2807-15>

23. Верховна Рада України. (2018). Про стратегічну екологічну оцінку : Закон України від 20 березня 2018 р. № 2354-VIII. URL:

<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2354-19>

24. Верховна Рада України. (2020). Про національну інфраструктуру геопросторових даних: Закон України від 13 квітня 2020 р. №554-IX URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/554-20#Text>

25. Воронова, Є. (2023). Сучасні тенденції і перспективи формування системи зелених насаджень міста. *Матеріали науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених*, м. Дніпро, 27-28 березня 2023 р. Дніпро : ПДАБА, 59–61.

26. Вотінов, М. А. (2019). Ландшафтна архітектура: конспект лекцій для студентів 2 курсу денної форми навчання освітнього рівня «бакалавр» із спеціальності 191–Архітектура та містобудування освітньої програми Архітектура.

27. Геопортал відкритих даних Білоцерківської міської територіальної громади. Офіційний сайт. URL: <https://mbk.bc-rada.gov.ua>

28. Головне управління геодезії, картографії та кадастру при Кабінеті Міністрів України (2020). Класифікатор інформації, яка відображається на топографічних планах масштабів 1:5 000, 1:2 000, 1:1 000, 1:500. Наказ від 9.03.2000 р., № 25, URL:https://gki.com.ua/files/uploads/documents/Norms/Ukrgeodesykart_norms/25.pdf

29. Голубцов, О. Г. (2018). Образ ландшафту: аналіз і оцінювання у ландшафтному плануванні. *Український географічний журнал*, (1), 15-23.

30. Готра, З. Я. (2017). Лазерні технології в приладобудуванні. ВНТУ.

31. Готра, З. Я., Шевчук, В. Я., & Войтович, О. В. (2014). Наземне лазерне сканування: принципи, обладнання, обробка результатів. Видавництво Львівської політехніки.

32. Грек, М. О., & Ступень, Н. М. (2023). Застосування web-гіс технологій в екологічному обстеженні територій: матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Планування та використання територій в контексті інклюзивного розвитку», м. Харків, 17-18 травня 2023 р. Харків, 262–264.

33. Гродзинський, М. Д. (2014). Ландшафтна екологія: підручник. Київ.

34. Губар, Ю. П., & Ваш, Я. І. (2020). Використання даних наземного лазерного сканування для ведення 3D-кадастру. *Нові технології в геодезії, землевпорядкуванні та природокористуванні*: матеріали X міжнародної науково-практичної конференції, м. Ужгород, 1-3 жовтня 2020 р. Ужгород, 46–49
35. Губар, Ю. П., Тревого, І. С., & Ваш, Я. (2022). Використання зонування території як частини генерального планування для визначення площ земель прибудинкових територій. *Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва*: збірник наукових праць Західного геодезичного товариства УТГК, 2 (44), 102–112. DOI: www.doi.org/10.33841/1819-1339-2-44-102-112
36. Губар, Ю., Хавар, Ю., & Ваш, Я. (2021). Шляхи розвитку національних кадастрових систем. *Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва*, 151-163. DOI: www.doi.org/10.33841/1819-1339-1-41-151-163
37. Державна служба з питань геодезії картографії та кадастру. URL: <https://land.gov.ua>.
38. Державний комітет будівництва, архітектури та житлової політики України. (2001). Про затвердження Інструкції з інвентаризації зелених насаджень у населених пунктах України : наказ від 24 грудня 2001 р. № 226. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0182-02>.
39. Дорожинський, О. Л. (2014). Наземне лазерне сканування в фотограмметрії: навч. посібник. Львів: Видавництво Львівської політехніки.
40. Дорошко, Є. В., Трегуб, М. В., Янкін, О. Є., & Онищенко, О. С. (2023). Особливості побудови цифрової 3D-моделі місцевості об'єктів транспортної інфраструктури за результатами вимірювань мобільним лазерним сканером. *Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету*, 1(102), 56-56. DOI: <https://doi.org/10.30977/BUL.2219-5548.2023.102.1.56>
41. Дорош, Й. М., & Дорош, О. С. (2015). Державні стандарти, норми і правила як механізм формування інституціонального середовища територіального планування землекористування. *Землеустрій, кадастр і моніторинг земель*, (2-3), 3-12.
42. Європейська ландшафтна конвенція. Сайт «Council of Europe».

URL:<https://rm.coe.int/CoERMPublicCommonSearchServices/DisplayDCTMContent?documentId=09000016802f3fc0>

43. Железняк, М. (2009). «Енциклопедія Сучасної України»: історія, сучасний стан та перспективи. Енциклопедичний вісник України.

44. Зелені насадження. Матеріали вільної енциклопедії «Вікіпедія». URL:https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%97%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D1%96_%D0%BD%D0%B0%D1%81%D0%B0%D0%B4%D0%B6%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8F#cite_note-3abc-1

45. Зібцева, О. В. (2021). Концептуальні основи систем зелених насаджень малих міст Київщини в контексті екозбалансованого розвитку.

46. Кабінет міністрів України. (1998). Положення про державну систему моніторингу довкілля: постанова від 30 березня 1998 р. № 391. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/391-98-п>

47. Кабінет міністрів України. (2001). Про затвердження Положення про регіональні кадастри природних ресурсів : постанова від 28 грудня 2001 р. № 1781. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1781-2001-п>

48. Кабінет міністрів України. (2011). Про містобудівний кадастр : постанова від 25 травня 2011 р. № 559. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/559-2011-п> .

49. Кабінет міністрів України. (2013). Про затвердження Порядку інформаційної взаємодії між Державним земельним кадастром, іншими кадастрами та інформаційними системами: постанова Кабінету Міністрів України від 3 червня 2013 р. № 483. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/483-2013-п>

50. Калинич, І. В., Губар, Ю. П., Четверіков, Б. В., & Ваш, Я. І. (2023). Порівняння 3D-моделей об'єктів, побудованих за матеріалами наземного лазерного сканування. *Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва*: збірник наукових праць Західного геодезичного товариства УТГК, 1 (45), 112–118. DOI: www.doi.org/10.33841/1819-1339-1-45-112-118

51. Калинич, І. В., Ничвид, М. Р., Каблак, Н. І., Проданець, І. І., & Ваш, Я. І. (2022). Моніторинг геодинамічних процесів в басейні річки Тиса за допомогою

цифрового аерознімання із застосуванням БПЛА AUTEL EVO II PRO RTK. *Геодезія, картографія і аерофотознімання*, 95, 77–93. DOI: <https://doi.org/10.23939/istcgcap2022.95.077>

52. Калинич, І. В., Четверіков, Б. В., Ваш, Я. І., & Губар, Ю. П. (2022). Інвентаризація об'єктів садово-паркового господарства скверу Т. Масарика м. Ужгород із викори-станням НЛС. *Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва*: збірник наукових праць Західного геодезичного товариства УТГК, 2 (44), 121–129. DOI: www.doi.org/10.33841/1819-1339-2-44-121-129

53. Калинич, І., Ваш, Я. І., & Луцьо, В. (2022). Огляд та порівняння методів 3D-моделювання з точки зору функціональності та точності. *Географічні аспекти просторової організації території, суспільства та збалансованого природокористування*: матеріали III науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених, Ужгород, 7-9 грудня 2022 р. , 111–118.

54. Калинич, І., Каблак, Н., Проданець, І., Ваш, Я. І., & Ничвид, М. Р. (2023). До питання використання лідарного знімання для аналізу території. *Моніторинг довкілля, фотограмметрія, геоінформатика — сучасні технології та перспективи розвитку*: тези доповідей X міжнародної науково-технічної конференції, Львів, 8–10 листопада 2023 р. Львів, 11.

55. Карпінський, Ю. О., & Лазоренко-Гевель, Н. Ю. (2018). Застосування топографічних планів в умовах розвитку національної інфраструктури геопросторових даних. *Містобудування та територіальне планування*, (68), 712-724.

56. Кичак, В. М., Воловик, А. Ю., Шутило, М. А., & Червак, О. П. (2018). Радіотехнічні системи. Основи проектування. Частина 2.

57. Кузик, З., Турчин, Н., & Четверіков, Б. (2020). Створення довідково-інформаційної ГІС на територію пам'ятки садово-паркового мистецтва “Стрийський парк” у м. Львів. *Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва*, 1, 118-127.

58. Кучерявий, В. П., & Кучерявий, В. С. (2005). Озеленення населених місць. Львів: Світ, 454(2).

59. Макаревич, А. М., & Білоус, А. М. (2024). Точність вимірювання висоти

дерев різними висотомірами у міському середовищі. *Scientific Bulletin of UNFU*, 34(1), 36-41.

60. Маланчук, М. С., & Підгурський, І. В. (2019). Кадастрова інвентаризація порушених земель. Проблеми та практичні питання щодо виконання робіт із землеустрою : збірник матеріалів, 146.

61. Маланчук, М., Музика, Н., Хавар, Ю., & Гулько, О. (2019). Просторовий сталий розвиток суспільства як основа соціально-економічних відносин. *Вісник Львівського національного аграрного університету. Серія: Економіка АПК*, (26), 11-14.

62. Мамонов, К.А., Пілічева, М.О., Фролов, В.О., В'яткін, Р.С., & Войтенко, О.Р. (2024). Математичне моделювання показників геопросторового розвитку територіальних громад. *Український журнал прикладної економіки та техніки*, 9 (3), 287–292.

63. Мамонов, К.А., Пілічева, М.О., Штерндок, Е.С., & Фролов, В.О. (2024). Особливості формування геоінформаційних моніторингових систем використання земель територіальних громад на регіональному рівні. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*, 115 (2), 207–213.

64. Марушевський, Г., & Ігнатенко, О. (2019). Методичні рекомендації для проведення стратегічної екологічної оцінки документів державного планування : практич. посіб. для посадовців органів держ. влади та місц. самоврядування. Київ, 2019. URL: http://pleddg.org.ua/wp-content/uploads/2019/05/MP-CEO_web.pdf

65. Мельник, Ю. А., Гриник, Г. Г., & Гриник, О. М. (2019). Підсумки інвентаризації зелених насаджень дендропарку Поділля міста Хмельницький. *Науковий вісник НЛТУ України*, (29 (7)), 101-107. DOI: <https://doi.org/10.15421/40290720>.

66. Метешкін, К.О., Пілічева, М.О., & Маслій, Л.О. (2024). Концептуальні положення побудови кадастру інтелектуальних ресурсів у складі центру обробки кадастрової та іншої додаткової інформації. *Комунальне господарство міст. Серія: Технічні науки і архітектура*, 187 (6), 211–217. DOI: <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2024-6-187-211-217>

67. Методичні рекомендації для проведення стратегічної екологічної оцінки документів державного планування : практичний посібник для посадових осіб органів державної влади та органів місцевого самоврядування. (2019). URL: http://pleddg.org.ua/wp-content/uploads/2019/05/MP-CEO_web.pdf.

68. Міністерство будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства України. (2006). Про затвердження Правил утримання зелених насаджень у населених пунктах України: наказ від 10 квітня 2006 р. № 105. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0880-06>

69. Міністерство екології та природних ресурсів України. (2018). Про затвердження Методичних рекомендацій із здійснення стратегічної екологічної оцінки документів державного планування: наказ від 10 серпня 2018 р. № 296 (із змінами і доповненнями, внесеними наказами від 29 грудня 2018 р. № 465, від 18 липня 2019 р. № 260). URL: <https://mepr.gov.ua>

70. Міністерство з питань житлово-комунального господарства України. (2008). Про затвердження Положення про систему моніторингу зелених насаджень у містах і селищах міського типу України : наказ від 4 серпня 2008 р. № 240. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0981-08>

71. Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. (2024). Інструкція про зміст та складання документації державного кадастру територій та об'єктів природно-заповідного фонду України: наказ від 20 вересня 2024 року № 1175 URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1724-24#Text>

72. Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України. (2019). ДБН Б.2.2-12:2019. Планування і забудова територій: наказ від 26.04.2019 р. № 104.

73. Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України. (2015). Про затвердження форм адміністративної звітності з кількісного обліку земель (форми №№ 11-зем, 12-зем, 15-зем, 16-зем) та Інструкцій щодо їх заповнення: наказ від 30 грудня 2015 р. № 337. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0133-16>

74. Мрія українського землевпорядника, або... інвентаризація земель по-американськи / Асоціація «Земельна Спілка України».

URL:<https://zem.ua/uk/zmi-pro-nas/71-zmi-pro-nas/2290-mriya-ukrajinskogo-zemlevporyadnika-abo-inventarizatsiya-zemel-po-amerikanski>

75. Музика, Н. М., & Маланчук, М. С. (2019). Особливості функціонування системи управління земельними ресурсами міста. *Збалансоване природокористування*, 2, 173–181.

76. Намінат, О. С. (2020). Удосконалення методів геодезичного забезпечення моніторингу лінійних об'єктів у зонах впливу підземних гірничих робіт.

77. Овчаренко, А. Ю., & Залюбовська, О. В. (2018). Індикативний ландшафтний моніторинг національних природних парків (на прикладі території НПП «Слобожанський»). *Вісник Харківського національного університету імені ВН Каразіна, серія "Геологія. Географія. Екологія"*, (49), 69-76.

78. Орещенко, А. В. (2009). Рельєф як головний компонент тривимірних реалістичних картографічних моделей. *Збірник наукових праць Військового інституту Нац. ун-ту ім. Т. Шевченка*. Київ, 306–310.

79. Панас, Р. М., & Маланчук, М. С. (2014). Кадастр природних ресурсів: навч. посіб. М-во освіти і науки України, Нац. ун-т «Львів. Політехніка». Львів: Вид-во Львів. політехніки.

80. Петрик, Ю. В., Бурштинська, Х. В., & Паштетник, О. Т. (2019). Моніторинг засихання хвойних лісів за різночасовими космічними знімками (на прикладі Тухлянського лісництва). *Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва: збірник наукових праць Західного геодезичного товариства УТГК*, 1 (37), 78–84.

81. Петрик, Ю., Бурштинська, Х., & Поліщук, Б. (2024). Дослідження стану Прикарпатського регіону за космічними зображеннями з використанням методу контрольованої класифікації. *Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва: збірник наукових праць Західного геодезичного товариства УТГК*, 1 (47), 179–185.

82. Півень, Є. С., & Колесніченко, О. В. (2022). Оцінка норм озеленення у містах України та країн світу. *Тези доповідей: міжнародна науково-практична конференція «Ліси та урбоєкосистеми України в умовах війни: стан, збереження*

та відновлення», м. Київ, 18 листопада 2022. Київ, 68–70

83. Пономарьова, О. А. (2018). Біорізноманіття та життєвий статус лінійних чужорідних насаджень Дніпра (на прикладі проспекту Б. Хмельницького). *Наук. Молодий. Екологія-2018*: матеріали XIV всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених, м. Житомир, 17 травня 2018 р. Житомир: ЖНАУ, 179–183.

84. Про цілі сталого розвитку України на період до 2030 р. : Указ Президента України від 30 вересня 2019 р. № 722/2019. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/722/2019>

85. Роговський, С. В., Жихарева, К., Олешко, О. Г., Струтинська, Ю. В., & Колотницька, А. В. (2021). Сучасні проблеми інвентаризації рослин у міських насадженнях і досвід їх вирішення. *Науковий вісник національного лісотехнічного університету України: збірник наукових праць*. Львів: РВВ НЛТУ України, 31(5.), 60–66.

86. Руденко, Л. Г., Маруняк, Є. О., Палеха, Ю. М., Голубцов, О. Г., ..., & Хайланд Ш. (2016). Методика інтеграції екологічної складової розвитку у просторове планування України (регіональний рівень). 2-е вид. Київ : Реферат.

87. Руденко, Л.Г. (2020). Інтеграція екологічної складової в просторові плани громад : (метод. настанови). Національна академія наук України, Інститут географії. - Київ : Ін-т географії НАН України

88. Семко І. Д. (2015) Метод визначення надземної фітомаси деревостану сосни звичайної на основі матеріалів авіаційної лідарної зйомки: дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук. Київ, 135

89. Софтліст — інтернет-магазин ліцензійного програмного забезпечення. URL: <https://ua.softlist.com.ua/catalog/product-arccgis>

90. Стратегічна екологічна оцінка комплексного плану: практ. посіб. Київ, (2022). 106 с.

91. Стратегічна екологічна оцінка: досвід упровадження в містах України. К., (2019). 44 с.

92. У Києві створюють онлайн-мапу дерев. Уже оцифрували 23 тис. зелених насаджень. URL:

https://tvoemisto.tv/news/u_kyievi_stvoryuyut_onlaynmapu_derev_uzhe_otsyfruvally_23_tys_zelenyh_nasadzhen_146896.html

93. Укргеодезкартографія (1998). Про затвердження Інструкції з топографічного знімання в масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 та 1:500 (ДСТУ 2.04-02-98): наказ від 9 квітня № 56.
URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0393-98#Text>

94. Хмара точок. Вікіпедія. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A5%D0%BC%D0%B0%D1%80%D0%B0_%D1%82%D0%BE%D1%87%D0%BE%D0%BA

95. Ялова, К. (2019). Концептуальні положення автоматизації моніторингу стану зелених насаджень міста. Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво, (35), 112-116.

96. 3DForEcoTech. URL: <https://3dforecotech.eu/database/>

97. Abegg, M., Kükenbrink, D., Zell, J., Schaepman, M. E., & Morsdorf, F. (2017). Terrestrial laser scanning for forest inventories—tree diameter distribution and scanner location impact on occlusion. *Forests*, 8(6), 184. DOI: <https://doi.org/10.3390/f8060184>

98. Adler, F. R., & Tanner, C. J. (2013). *Urban ecosystems: ecological principles for the built environment*. Cambridge University Press.

99. An Overview of the LED and Laser Classification System in EN 0825-1 and IEC 60825-1. URL: http://www.lasennet.com/resources/classification_overview.htm

100. An Overview of the LED and Laser Classification System in EN 0825-1 and IEC 60825-1. Сайт Lasermet Ltd. URL: <http://www.lasermet.com/laser-standards.php>.

101. Babushka, A., Burshtynska, K., & Denys, Y. (2017). Classification of forests in the Precarpathian region using QuickBird-2 high resolution satellite image. *Geomatics, Landmanagement and Landscape*, (2), 7-19.

102. Badiu, D. L., Iojă, C. I., Pătroescu, M., Breuste, J., Artmann, M., Niță, M. R., ... & Onose, D. A. (2016). Is urban green space per capita a valuable target to achieve cities' sustainability goals? Romania as a case study. *Ecological indicators*, 70, 53-66.

103. Burshtynska K., Petryk Y., Polishchuk B., & Shylo Y. (2019). Monitoring of coniferous forest drying in Precarpathian region using remote sensing data. *Geodesy, cartography and aerial photography*, 90, 29–40. DOI: <https://doi.org/10.23939/istcgcap2019.90.029>

104. Burshtynska, K., Kokhan, S., Pfeifer, N., Halochkin, M., & Zayats, I. (2023). Hydrological Modeling for Determining Flooded Land from Unmanned Aerial Vehicle Images—Case Study at the Dniester River. *Remote Sensing*, 15(4), 1071.

105. DiCarlo FARO Focus S150 plus-Auto. URL: <https://www.dicarlotech.com/products/3d/faro-focus-s150plus-auto>

106. Direct Reflex EDM Technology for the Surveyor and Civil Engineer. URL: http://www.navgeocom.ru/download/pub/raznoe/Direct_Reflex_EDM_Technology_White_Paper.pdf

107. Esri. URL: <https://esri.ua/sarticle.php?id=12>

108. Exploring the Green Canopy in cities around the world. URL: https://senseable.mit.edu/treepedia/greenindex/boston/SbHjsnuhPRn_3CajBB_xUA

109. Fileformat. URL: <https://docs.fileformat.com/uk/gis/las/>

110. Fol, C. R., Kükenbrink, D., Rehush, N., Murtiyoso, A., & Griess, V. C. (2023). Evaluating state-of-the-art 3D scanning methods for stem-level biodiversity inventories in forests. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 122. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jag.2023.103396>.

111. Fratini, R., & Marone, E. (2011). Green-space in Urban Areas: Evaluation of Efficiency of Public Spending for Management of Green UrbanAreas. *International Journal of e-business development*, 9-14.

112. Gavrilidis, A. A., Niță, M. R., Onose, D. A., Badiu, D. L., & Năstase, I. I. (2019). Methodological framework for urban sprawl control through sustainable planning of urban green infrastructure. *Ecological indicators*, 96, 67-78.

113. Gollob, C., Ritter, T., Kraßnitzer, R., Tockner, A., & Nothdurft, A. (2021). Measurement of forest inventory parameters with Apple iPad pro and integrated LiDAR technology. *Remote Sensing*, 13(16). DOI: <https://doi.org/10.3390/rs13163129>.

114. Husqvarna Urban Green Space Index. URL:

https://www.hugsi.green/static/hugsi_space_index_2019_report_v2_1-e4638c0d067ef9e01f0911000f57fddd.pdf

115. Jay, S. , & Handley, J. (2001). The application of environmental impact assessment to land reclamation practice. *Journal of environmental planning and management*, 44, 765–782.

116. Kabisch, N., Strohbach, M., Haase, D., & Kronenberg, J. (2016). Urban green space availability in European cities. *Ecological indicators*, 70, 586-596.

117. Kalvoda, P., Nosek, J., Kuruc, M., Volarik, T., & Kalvodova, P. (2020, December). Accuracy Evaluation and Comparison of Mobile Laser Scanning and Mobile Photogrammetry Data. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 609, No. 1, p. 012091). IOP Publishing. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/609/1/012091>.

118. Kopecká, M., Szatmári, D., & Rosina, K. (2017). Analysis of urban green spaces based on Sentinel-2A: Case studies from Slovakia. *Land*, 6(2), 25.

119. Koshkalda, I., Anopriienko, T., Pilicheva, M., & Maslii, L. (2021). Methodology of application of modern technologies in land inventory of territorial communities Baltic surveying. *International scientific journal (Latvia, Lithuania, Poland)*, 14, 17–24. DOI: 10.22616/j.balticsurveying.2021.14.002

120. Koshkalda, I., Trehub, M., Pazynich, Y., Dombrovska, O., & Anopriienko, T. (2023). Management of recreation land: Development prospects. *Review of Economics and Finance*, 21(1), 2404-2414. DOI: <https://doi.org/10.55365/1923.x2023.21.255>

121. Kuželka, K., & Surový, P. (2021). Mathematically optimized trajectory for terrestrial close-range photogrammetric 3D reconstruction of forest stands. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 178, 259-281. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2021.06.013>.

122. Laser Classification. Сайт Physical & Theoretical Chemistry Laboratory, University of Oxford. URL: http://ptcl.chem.ox.ac.uk/MSDS/laser_classification.html

123. Laser Safety Fact Sheet/ Сайт University of Kentucky. URL: http://ehs.uky.edu/radiation/laser_fs.html

124. Laser safety. URL: http://www.φ-photonics.com/laser_safety.html

125. Li, J., Yang, B., Yang, Y., Zhao, X., Liao, Y., Zhu, N., ... & Dong, Z. (2023). Real-time automated forest field inventory using a compact low-cost helmet-based laser scanning system. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 118. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jag.2023.103299>.
126. Liang, X., Hyypä, J., Kaartinen, H., Lehtomäki, M., Pyörälä, J., Pfeifer, N., ... & Wang, Y. (2018). International benchmarking of terrestrial laser scanning approaches for forest inventories. *ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing*, 144, 137-179. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2018.06.021>.
127. Liang, X., Kankare, V., Hyypä, J., Wang, Y., Kukko, A., Haggrén, H., ... & Vastaranta, M. (2016). Terrestrial laser scanning in forest inventories. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 115, 63-77
128. Maas, H. G., Bienert, A., Scheller, S., & Keane, E. (2008). Automatic forest inventory parameter determination from terrestrial laser scanner data. *International journal of remote sensing*, 29(5), 1579-1593.
129. Malanchuk, M., Stupen, N., Hulko, O., & Zajats, J. (2022, October). Applying GIS-Technologies for Spatial Modelling of the Territory of Sukhovolia Village Council in Lviv Region. In *International Conference of Young Professionals «GeoTerrace-2022»* (Vol. 2022, No. 1, pp. 1-5). European Association of Geoscientists & Engineers.
130. Murtiyoso, A., Cabo, C., Singh, A., Obaya, D. P., Cherlet, W., Stoddart, J., ... & Mokroš, M. (2024). A review of Software solutions to process Ground-based Point clouds in Forest Applications. *Current Forestry Reports*, 10(6), 401-419.
131. Nielsen, A. B., Östberg, J., & Delshammar, T. (2014). Review of urban tree inventory methods used to collect data at single-tree level. *Arboriculture & Urban Forestry (AUF)*, 40(2), 96-111
132. Ojeda-Revah, L., Ochoa González, Y., & Vera, L. (2020). Fragmented urban greenspace planning in major Mexican municipalities. *Journal of Urban Planning and Development*, 146(2).
133. Pilicheva, M., Maslii, L., & Anopriienko, T. (2022). Technology of geodesic works in the inventory of green spaces using unmanned aircraft. *Municipal Economy of Cities*, 3(170), 263–270. DOI: <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2022-3-170->

263-270

134. Riedel, W., Lange, H., Jedicke, E., & Reinke, M.. (2016). *Landschaftsplanung*. Springer Berlin Heidelberg.

135. Ritter, T., Schwarz, M., Tockner, A., Leisch, F., & Nothdurft, A. (2017). Automatic mapping of forest stands based on three-dimensional point clouds derived from terrestrial laser-scanning. *Forests*, 8(8), 265.

136. Ryzhok, Z., Stupen, R., Stupen, N., & Stupen, O. (2023, October). Methodology of using ArcGIS Online for land resources management in territorial communities. In International Conference of Young Professionals «GeoTerrace-2023» (Vol. 2023, No. 1, pp. 1-5). European Association of Geoscientists & Engineers.

137. Sadovyy, I. I., Stupen, N. M., Zholamanov, K. K., Kulbaka, O. M., & Grek, M. O. (2023, October). Indicators improvement of territories spatial development. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 1254, No. 1, p. 012095). IOP Publishing.

138. Schmidt C, H. G., & Galandi, R. (2010). *Kulturlandschaft gestalten—Arbeitsmaterial Kulturlandschaft. Naturschutz und Biologische Vielfalt*, (103).

139. Serrano, F. L., Rubio, E., Morote, F. G., Abellán, M. A., Córdoba, M. P., Saucedo, F. G., ... & González, J. G. (2022). Artificial intelligence-based software (AID-FOREST) for tree detection: a new framework for fast and accurate forest inventorying using LiDAR point clouds. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 113. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jag.2022.103014>.

140. Stupen, R., Ryzhok, Z., Stupen, N., & Stupen, O. (2023, October). Methodological principles of the application of geoinformation systems for creating a geospatial database. In International Conference of Young Professionals «GeoTerrace-2023» (Vol. 2023, No. 1, pp. 1-5). European Association of Geoscientists & Engineers.

141. Sun, R., Lü, Y., Chen, L., Yang, L., & Chen, A. (2013). Assessing the stability of annual temperatures for different urban functional zones. *Building and Environment*, 65, 90-98.

142. Tappert, S., Klöti, T., & Drilling, M. (2018). Contested urban green spaces in the compact city: The (re-) negotiation of urban gardening in Swiss cities. *Landscape*

and urban planning, 170, 69-78. URL: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2017.08.016>

143. TerraScan User Guide. URL: <https://terrasolid.com/guides/tscan/tboxtrees.html>

144. TerraSolid. URL: <https://terrasolid.com/>

145. The future of urban sustainability — enter HUGSI! URL: <https://www.husqvarnagroup.com/en/news/future-urban-sustainability-enter-hugsi>

146. Tîrlă, M. L., Manea, G., Vijulie, I., Matei, E., & Cocos, O. (2014). Green cities—Urban planning models of the future. Cities in the globalizing world and Turkey: a theoretical and empirical perspective. University Press: Sofia, Bulgaria, 462-479. URL: <https://doi.org/10.13140/2.1.4143.6487>

147. Tockner, A., Gollob, C., Kraßnitzer, R., Ritter, T., & Nothdurft, A. (2022). Automatic tree crown segmentation using dense forest point clouds from Personal Laser Scanning (PLS). International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 114. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.jag.2022.103025>

148. Tree Inventory, management plans (ArborPro), (2019). URL: <https://arborprousa.com/services#urban-forest-management-plans>.

149. Trochta, J., Krůček, M., Vrška, T., & Král, K. (2017). 3D Forest: An application for descriptions of three-dimensional forest structures using terrestrial LiDAR. PloS one, 12(5).

150. Update on the OGD Cadastre of Trees of Vienna in OpenStreetMap, GISForge. URL: <https://gisforge.wordpress.com/2015/01/02/update-on-the-ogd-cadastre-of-trees-ofvienna-in-openstreetmap>.

151. Von Haaren, C. (2024). Landschaftsplanung [mit Beitr. von: Claus Bittner]. Stuttgart, UTB, Ulmer, 527.

152. Vynohradenko, S., Siedov, A., Trehub, M., Zakharchenko, Y., & Trehub, Y. (2022). Features of Providing Engineering and Infrastructure Objects with Geospatial Information. Review of Economics and Finance, 20, 639-646. DOI: <https://doi.org/10.55365/1923.x2022.20.74>

153. Wang, Y., Pyörälä, J., Liang, X., Lehtomäki, M., Kukko, A., Yu, X., ... &

Hyypä, J. (2019). In situ biomass estimation at tree and plot levels: What did data record and what did algorithms derive from terrestrial and aerial point clouds in boreal forest. *Remote Sensing of Environment*, 232. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111309>.

154. Wilkes, P., Disney, M., Armston, J., Bartholomeus, H., Bentley, L., Brede, B., ... & Yang, W. (2022). TLS2trees: a scalable tree segmentation pipeline for TLS data. *Methods in Ecology and Evolution*, 14(12), 3083-3099. DOI: <https://doi.org/10.1101/2022.12.07.518693>.

155. Witzmann, S., Matitz, L., Gollob, C., Ritter, T., Kraßnitzer, R., Tockner, A., ... & Nothdurft, A. (2022). Accuracy and precision of stem cross-section modeling in 3D point clouds from TLS and caliper measurements for basal area estimation. *Remote Sensing*, 14(8), 1923. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs14081923>

156. Yukhnovskyi, V. Y., Zibtseva, O. V., & Debryniuk, I. M. (2021). Evaluation of green space systems in small towns of Kyiv region. *Bulletin of Geography. Socio-economic Series*, (53), 7-16. DOI: <https://doi.org/110.2478/bog-2021-0019>



Додаток А

**УЖГОРОДСЬКА МІСЬКА РАДА
УПРАВЛІННЯ МІСТОБУДУВАННЯ ТА АРХІТЕКТУРИ**

вул. Небесної Сотні, 4, м. Ужгород, 88000; тел./факс: (0312)61-71-03;
сайт: www.rada-uzhgorod.gov.ua; e-mail: architect@rada-uzhgorod.gov.ua; код ЄДРПОУ 41284929

№ _____ На № _____ від _____

**АКТ
ВПРОВАДЖЕННЯ НАУКОВИХ РОЗРОБОК**

**здобувача наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 193
Геодезія та землеустрій (галузь знань 19 Архітектура та будівництво)**

Ваша Ярослава Івановича

(Ім'я та прізвище Здобувача)

**дисертації «Інвентаризація зелених насаджень в населених пунктах
методами наземного лазерного сканування»**

Зважаючи на необхідність дотримання ОМС вимог Правил утримання зелених насаджень у населених пунктах України, затверджених наказом Міністерства будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства України 10 квітня 2006 р. за № 105, та Інструкції з інвентаризації зелених насаджень у населених пунктах України, затвердженої наказом Державного комітету будівництва, архітектури та житлової політики України 24 грудня 2001 р. за № 226, дані дисертаційного дослідження відіграють важливу роль при організації робіт з використанням новітніх наземних методів знімання територій та подальшому використанні даних інвентаризації зелених насаджень у стратегічній екологічній оцінці територіальної громади та геопорталах громад, базах даних кадастру базового рівня.

Наукові розробки Ваша Я.І., відіграють важливу практичну та просвітницьку роль, як в частині сприяння розвитку науково-технічного прогресу у сфері інвентаризації зелених насаджень територій населених пунктів з використанням сучасних технологій наземного лазерного сканування та сучасних інформаційних технологій, так і в пропагуванні збереження зелених насаджень як невід'ємної частини населених пунктів.

Зважаючи на вищевикладене виконані Вашем Я.І. дослідження, висновки та рекомендації, заслуговують підтримки та використання при проведенні робіт з інвентаризації зелених насаджень.

**Начальник управління,
головний архітектор**



Олег БОРШОВСЬКИЙ

**АКТ
ВПРОВАДЖЕННЯ НАУКОВИХ РОЗРОБОК**

**здобувача наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 193
Геодезія та землеустрій (галузь знань 19 Архітектура та будівництво)
Ваша Ярослава Івановича**

**дисертації «Інвентаризація зелених насаджень в населених пунктах
методами наземного лазерного сканування»**

Дисертація присвячена дослідженню теоретичних узагальнень і практичних рекомендацій щодо удосконалення методики інвентаризації зелених насаджень для потреб кадастру із застосуванням наземного лазерного сканування.

В роботі визначено недосконалість нормативно-законодавчої бази та відсутність єдиних стандартів, які ускладнюють процес інвентаризації для прийняття управлінських рішень щодо зелених насаджень органами виконавчої влади та місцевого самоврядування. Зважаючи на те, що в роботі визначено різні правові й технічні аспекти баз даних інформацій про зелені насадження в населених пунктах, включно з особливостями інформаційних систем та використанням сучасних технологій для вдосконалення точності й ефективності інвентаризації угідь. Результати досліджень сприятимуть сталому розвитку територій, поліпшенню якості екологічного моніторингу, комплексному плану просторового розвитку території та впровадженню інноваційних підходів до збереження природних ресурсів

Окремо слід відмітити запропонований алгоритм інтеграції даних наземного лазерного сканування (НЛС) при проведенні планової діяльності для стратегічної екологічної оцінки(СЕО), оцінки впливу на довкілля (ОВД) та після проектного моніторингу(ППМ), який в перспективі надасть змогу на передовому рівні проводити екологічні, соціальні та економічні дослідження, що супроводжують просторове планування.

Зважаючи на вищевикладене дисертаційне дослідження має важливу прикладну цінність при проведенні різних науково-прикладних задач.

Голова ГО
«Інститут раціонального природокористування»



Владислав ПЕРЕСОЛЯК