

УДК 712.253:657.371

Я. ВАШ¹, Ю. ГУБАР², І. КАЛИНИЧ³, Б. ЧЕТВЕРІКОВ⁴

¹ Кафедра кадастру територій, Національний університет “Львівська політехніка”, вул. С. Бандери, 12, Львів, 79013, Україна, e-mail: yaroslav.i.vash@lpnu.ua

² Кафедра кадастру територій, Національний університет “Львівська політехніка”, вул. С. Бандери, 12, Львів, 79013, Україна, e-mail: yurii.p.hubar@lpnu.ua

³ Кафедра землевпорядкування та кадастру, Державний вищий навчальний заклад “Ужгородський національний університет”, вул. Університетська, 14, Ужгород, 88000, Україна, e-mail: ivan.kalynych@uzhnu.edu.ua

⁴ Кафедра фотограмметрії та геоінформатики, Національний університет “Львівська політехніка”, вул. С. Бандери, 12, Львів, 79013, Україна, +38(063)1671585, e-mail: chetverikov@email.ua

ІНВЕНТАРИЗАЦІЯ ОБ’ЄКТІВ САДОВО-ПАРКОВОГО ГОСПОДАРСТВА СКВЕРУ Т. МАСАРИКА м. УЖГОРОД ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ НЛС

Мета. Мета роботи – висвітлити основні етапи і перспективи аналізу отриманих даних наземного лазерного сканування незначних груп зелених насаджень міст на прикладі скверу Т. Масарика в м. Ужгороді, а також порівняти цю технологію із класичним методом інвентаризації зелених насаджень. **Методика.** В роботі розкрито особливості інвентаризації об’єктів садово-паркового господарства із використанням даних наземного лазерного сканування (НЛС). Запропоновано методику визначення не тільки наявності об’єктів зеленого господарства, але і їх характеристик. Описано здійснення інвентаризації зелених насаджень та результати її виконання на прикладі скверу Т. Масарика в Ужгороді. Виконано порівняння даних інвентаризації, зібраних аналоговими методами у 2017 р., та даних НЛС 2021 р. Інвентаризація зелених насаджень здійснюється відповідно до Інструкції з технічної інвентаризації зелених насаджень у містах та селищах міського типу України раз на п’ять років із квітня до жовтня і 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; вчасне внесення змін, які відбулися в зелених насадженнях, у креслення, паспорти об’єктів зеленого господарства та зведені дані про зелені насадження населеного пункту. Під час інвентаризації: визначено загальну площу, зайняту об’єктами зеленого господарства, зокрема деревами, чагарниками, квітниками, газонами, стежками тощо; встановлено кількість дерев і чагарників за типом насаджень, видами, віком, діаметром на висоті 1,3 м стовбурів дерев та стану їхнього утримання; визначено вартість об’єкта загалом і його окремих ділянок; вчасно внесено зміни, які відбулися в зелених насадженнях, у креслення, паспорти об’єктів зеленого господарства та зведені дані про зелені насадження населеного пункту. **Результати.** В результаті досліджень виконано лазерне сканування скверу Т. Масарика у м. Ужгороді та опрацьовано отримані дані. Здійснено детальну інвентаризацію зелених насаджень на набережній Незалежності, а саме на території меморіального скверу ім. Т. Масарика. Після подеревного обліку досліджено 106 деревних порід різних видів. Хвойних – три види, листяних – дванадцять. Під час інвентаризації за санітарним станом підраховано кількість дерев у кожній категорії: I категорія – 49; II категорія – 33; III категорія – 1; IV категорія – 27; V категорія – 1. Загальна санітарна оцінка насаджень – задовільна із незначним сухостоєм та аварійними насадженнями тополі білої, що потребують заміни. Вперше на Закарпатті створено просторову модель об’єктів садово-паркового господарства на основі якісних даних за допомогою програмного забезпечення Archicad та створено 3D-моделі зелених зон із можливістю їх відображення за допомогою технології BIMx із різних ракурсів. **Практична цінність.** Отриманими результатами може скористатися муніципальна влада для упорядкування та догляду за сквером Т. Масарика у м. Ужгороді.

Ключові слова: наземне лазерне сканування; НЛС; стан зелених насаджень; інвентаризація; зелені насадження; парки; сквери; ГІС.

Вступ

Лісові дослідження мають на меті оцінити, для великих просторових площ лісу, атрибути, які становлять комерційний чи екологічний інтерес або потрібні для екосистемних послуг, зокрема кількість стебел, види, склад, висоту дерева або об’єм деревини. Зазвичай лісові обстеження досягають великих просторових

масштабів для оцінювання атрибутів лісу за допомогою результатів вимірювань окремих дерев на вибраних ділянках вибірки. Ці спостереження обробляють як ділянку збільшеної сфери інтересів. Тому є два основні чинники, що впливають на якість обстеження лісу: точність вимірювань лісових атрибутів і репрезентивності відібраних територій щодо широкої території

інтересу. Наше дослідження дає кількісні оцінки проблем, із якими стикаються, покращуючи кожен із цих факторів досліджень для лісу, здійснених за допомогою наземних лазерних сканерів (НЛС).

Нині для вирішення завдань моніторингу та оцінювання лісових насаджень використання методів та засобів лазерного сканування є одним із найактуальніших та найпріоритетніших напрямів. Лазерне сканування може виконуватися самостійно або в комплексі із цифровим повітряним та космічним зніманням, а також може здійснюватися наземними дослідженнями на тестових ділянках. За низкою показників лазерне сканування перевершує інші, відомі сьогодні дистанційні методи оцінювання якісних та кількісних характеристик лісового фонду. Лазерне сканування лісового покриву ґрунтуване на використанні сучасних технологій цифрової фотограмметрії та геоінформаційних систем, а також методах цифрової обробки та моделювання багатовимірних відбитих сигналів. Використання повітряного лазерного сканування дає змогу досягати високої точності визначення основних лісотаксаційних параметрів, що можна порівняти із наземною таксацією. Основною перевагою НЛС над іншими методами моніторингу лісових насаджень є те, що лазерний промінь здатний проникати крізь полог лісу, скануючи всі яруси деревостою. Висока щільність сканування дає змогу одержувати тривимірні зображення окремих дерев із високою точністю. Отримана тривимірна модель не потребує оброблення, на відміну від аерокосмічних методів дистанційного зондування Землі, які пов'язані із тривалим та трудомістким дешифруванням отриманих знімків. Наземне лазерне сканування, по суті, аналогічне до традиційних фотограмметричних методів, проте воно дає змогу одержувати координати із однієї точки стояння з можливістю контролю вимірювань безпосередньо в польових умовах, забезпечуючи вищу точність вимірювань порівняно із фотограмметричними методами.

Головні переваги лазерних сканувальних систем такі:

- високі точність і швидкість виконання вимірювань;
- практично миттєва обробка даних, що важливо для роботи в польових умовах;
- наявність таких можливостей: створення різних креслень, зокрема перерізів, порівняння отриманої інформації з проектною моделлю, що полегшує контроль якості роботи, складання за результатами знімання топографічних планів, геодезичне знімання важкодоступних і небезпечних об'єктів.

Сьогодні можна назвати такі сфери застосування лазерних сканувальних систем:

- знімання споруд, насичених інфраструктурою (заводських територій, електропідстанцій, об'єктів видобування та транспортування вуглеводнів);

- великомасштабне топонімання;
- виконавче знімання ділянок промислових споруд, що підлягають реконструкції (цехів, установок, промислових майданчиків), для подальшого передавання даних у САПР у тривимірному вигляді;
- міський кадастр;
- реконструкція та будівництво (архітектурне обмірювання установ, авторський нагляд за реалізацією проєктів);
- створення сцен віртуальної реальності для додатків тривимірного моделювання;
- реставрація будівель, археологічних пам'яток;
- знімання тунелів, моніторинг будинків та споруд, побудованих у сейсмічно небезпечних районах, а також зсувних ділянок гірської місцевості.

Лазерні сканери дають змогу помітно зменшити терміни виконання геодезичних та інженерно-вишуквальних робіт, допомагаючи виконувати обмірювання максимально швидко. Лазерне сканування – найшвидший спосіб створення цифрових 3D моделей зазначених об'єктів, а також перетворення цих моделей на параметричні за допомогою систем автоматизованого проєктування (САПР).

У наш час наземне лазерне сканування все частіше використовують у різних напрямках, що пов'язані із дослідженням навколишнього середовища, особливо в частині сканування об'єктів культури та промисловості.

Серед наукових праць останніх років закордонних вчених необхідно виділити дослідження із застосування наземного та авіаційного лазерних сканерів для вивчення екологічних проблем лісового покриву [Boucher et al., 2021; Calders et al., 2020; Danson et al., 2018; Rodríguez-Vivancos et al., 2022; Orwig et al., 2018]. Застосування наземних лазерних сканерів, лідарів, встановлених на БПЛА для картографування лісів і природних парків, описано в працях [Dai et al., 2022; Hauglin et al., 2021]. Методи вимірювань і моделювання лісів за допомогою лазерних сканерів описано в статтях груп авторів [Markku Åkerblom, Pekka Kaitaniemi, 2021; Puletti et al., 2021; Wilson et al., 2022; Wilkes et al., 2017]. Достатню увагу в науковій літературі приділено власне інвентаризації лісів за допомогою наземних лазерних сканерів [Henrik et al., 2022; Newnham et al., 2015; Oruç & Öztürk, 2021; Pires et al., 2022; Weiser et al., 2022; Demol et al., 2021], але в кожному конкретному випадку загальна методика застосування НЛС для інвентаризації є різною.

Оскільки без належної візуалізації неможливо здійснити об'єктивну оцінку насаджень та їх подальшу реконструкцію, необхідно також відзначити працю вітчизняної групи авторів [Калинич та ін., 2018; Ялова, 2019].

Згідно із Інструкцією [Інструкція з технічної інвентаризації зелених насаджень у містах та селищах міського типу України], інвентаризація зелених насаджень проводиться раз на п'ять років. Відповідно до інформації Департаменту екології та природних ресурсів Закарпатської обласної державної адміністрації та [Дудин, Левусь, 2014], 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 названо на честь першого Президента Чехословаччини (1918–1935) Т. Г. Масарика. Посеред площі 23 березня 2002 р. йому встановлено пам'ятник.

Мета

Мета – висвітлити основні етапи і перспективи аналізу отриманих даних наземного лазерного сканування незначних груп зелених насаджень міст на прикладі скверу ім. Т. Масарика в м. Ужгороді, а також виконати порівняння цієї технології із класичним методом інвентаризації зелених насаджень.

Методика

Інвентаризація зелених насаджень здійснюється відповідно до Інструкції з технічної інвентаризації зелених насаджень у містах та селищах міського типу України раз на п'ять років з квітня до жовтня і 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;
- вчасне внесення змін, які відбулися у зелених насадженнях, у креслення, паспорти об'єктів зеленого господарства та зведені дані про зелені насадження населеного пункту.

Під час інвентаризації здійснювалось:

- визначення загальної площі, зайнятої об'єктами зеленого господарства, зокрема деревами, чагарниками, квітниками, газонами, стежками тощо;
- визначення кількості дерев і чагарників за типом насаджень, видами, віком, діаметром на висоті 1,3 м стовбурів дерев та стану їхнього утримання;
- визначення вартості об'єкта загалом і його окремих ділянок;
- вчасне внесення змін, які відбулися в зелених насадженнях, у креслення, паспорти об'єктів зеленого господарства та зведені дані про зелені насадження населеного пункту.

Через відсутність планів, геодезичних матеріалів, креслень, проєктів, графічних матеріалів належної якості інвентаризація об'єктів зеленого господарства здійснювалася з паралельним створенням таких матеріалів. Для цього виконано тахеометричне знімання відповідно до схеми (рис. 1), у масштабі 1:500 згідно із Інструкцією із топографічного знімання у масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 та 1:500 (ГКНТА-2.04-02-98).

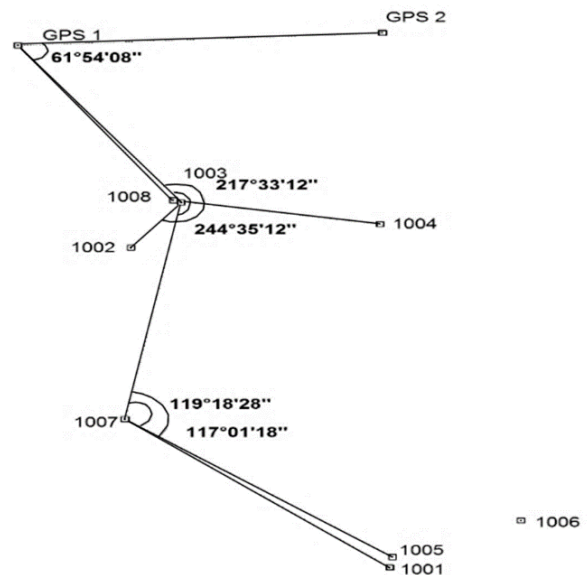


Рис. 1. Схема знімального об'єктування

До результатів інвентаризації зелених насаджень ставлять вимогу обов'язкового відображення розподілу об'єктів на категорії згідно із їх санітарним станом (рис. 2).

Інвентаризаційний план зелених насаджень, крім загальних вимог, визначених вимогами до топографічного знімання, містить обов'язкове відображення розподілу об'єктів досліджень на категорії за їх метричними характеристиками: видом, товщиною стовбура та висотою. Частина цього планового матеріалу наведено на рис. 3.

Сканування дерев скверу виконано наземним 3D-сканером FARO Focus S150 (рис. 4). Цей сканер має радіус дії 150 м, якість отриманих даних досягається завдяки функції компенсації на місці.

Сканування на кожній станції здійснено в три етапи:

- виконання панорамного скану;
- розпізнавання на панорамному скані відбивних марок і сканування їх з високою щільністю для підвищення точності визначення марок;
- виділення на панорамному скані області, що підлягає зніманню, та її сканування із необхідною щільністю (рис. 5).

Після виконання сканування в програмному пакеті Scene2019 отримано первинну цифрову модель насаджень (рис. 6).

Таблиця 1

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 2

Детальні похибки

Кластер/Скан1	Кластер/Скан2	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

У табл. 1 і 2 подано похибки сканування та детальні похибки сканів. Максимальна похибка точок сканування становила 46,7 мм, а середня похибка 24,6 мм за мінімального перекриття 3,9 %. Оскільки територія скверу доволі складна для сканування необхідних нам об'єктів, а саме дерев, і в багатьох випадках неможливо добитися відсотка перекриття більше ніж 50 %, до того ж враховуючи цілі сканування і складну структуру об'єктів, вважаємо отриману точність цілком задовільною.

Результати

Якісний стан дерев та кущів встановлювали за класифікацією, викладеною у роботі [Калинич та ін., 2018] із розподілом зелених насаджень на категорії: добрий стан, задовільний, незадовільний.

Відповідно до вимог за матеріалами інвентаризації сформовано відомості обліку дерев, кущів у групових посадках і тих, що ростуть окремо, живоплотів і бордюрів, квітників та газонів. Інвентаризація зелених насаджень передбачає визначення загальної площі, зайнятої об'єктами зеленого господарства, якісної та

кількісної характеристик зелених насаджень, визначення вартості об'єкта та вчасне внесення змін до наявних матеріалів.

Детальну інвентаризацію зелених насаджень здійснено в м. Ужгород на набережній Незалежності, а саме на території меморіального скверу ім. Масарика. Площа скверу – 0,57 га.

Після здійснення подеревного обліку було досліджено 106 деревних порід різних видів. Хвойних – три види, листяних – дванадцять.

Під час інвентаризації за санітарним станом підраховано таку кількість дерев у кожній категорії: I категорія – 49; II категорія – 33; III категорія – 1; IV категорія – 27; V категорія – 1.

Загальна санітарна оцінка насаджень – задовільна із незначним сухостоєм та аварійними насадженнями тополі білої, що потребують заміни.

За віковою стиглістю більшість насаджень є генеративними рослинами, які плодоносять.

Важливим напрямом удосконалення сучасних геоінформаційних систем є розширення функціонала роботи із зеленими насадженнями. Цей функціонал

повинен давати можливість візуалізації перспективи розвитку об'єктів, залежно від їх видових характеристик.

Вперше в Закарпатті створено просторову модель об'єктів садово-паркового господарства на основі якісних даних за допомогою програмного забезпечення із можливістю забезпечення публічного доступу. Результати наземного лазерного сканування в програмному пакеті Faro SCENE оприлюднено за допомогою сервісу FARO WebShare за посиланням <https://testplace.websharecloud.com/?v=om&t=p:default,c:overviewmap,h:f,m:t&om=om1&om1=x:-17.875,y:-12.906,zoom:3&p=p:park-masaryka>, згідно із рис. 7.

- | | | | |
|--|------------------|--|-----------------|
| | Дерево листяне 1 | | Дерево хвойне 1 |
| | Дерево листяне 2 | | Дерево хвойне 3 |
| | Дерево листяне 3 | | Дерево хвойне 2 |
| | Дерево листяне 4 | | Дерево хвойне 4 |
| | Дерево листяне 5 | | Дерево хвойне 5 |

Рис. 2. Умовні позначення санітарного стану зелених насаджень

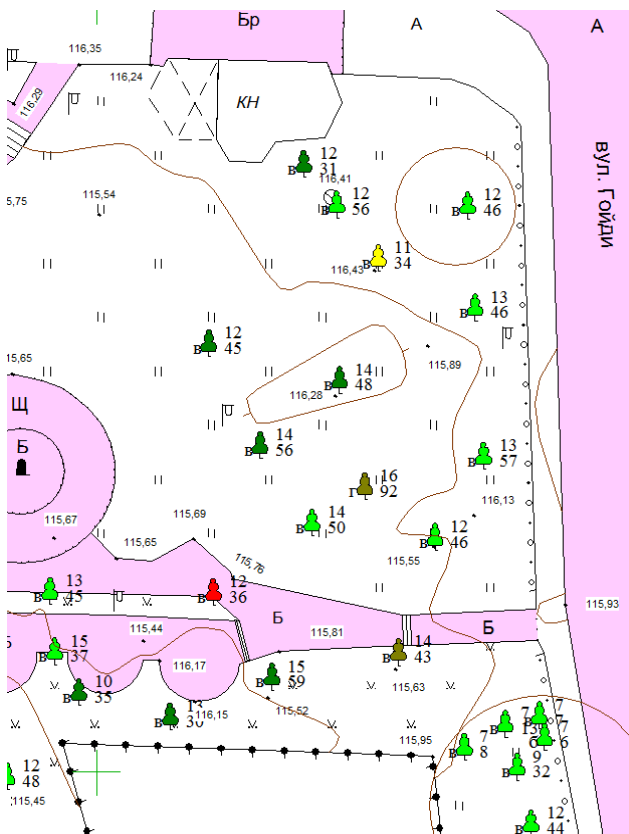


Рис. 3. Копія з плану інвентаризації зелених насаджень парку Т. Масарика



Рис. 4. Вигляд НЛС FARO Focus S150

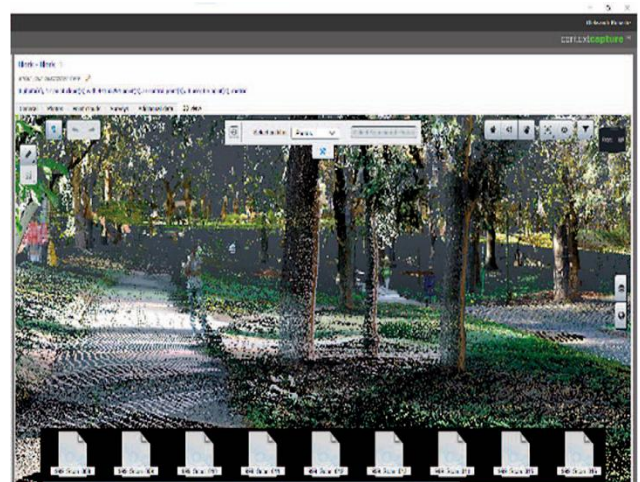


Рис. 5. Фрагмент відсканованої досліджуваної області

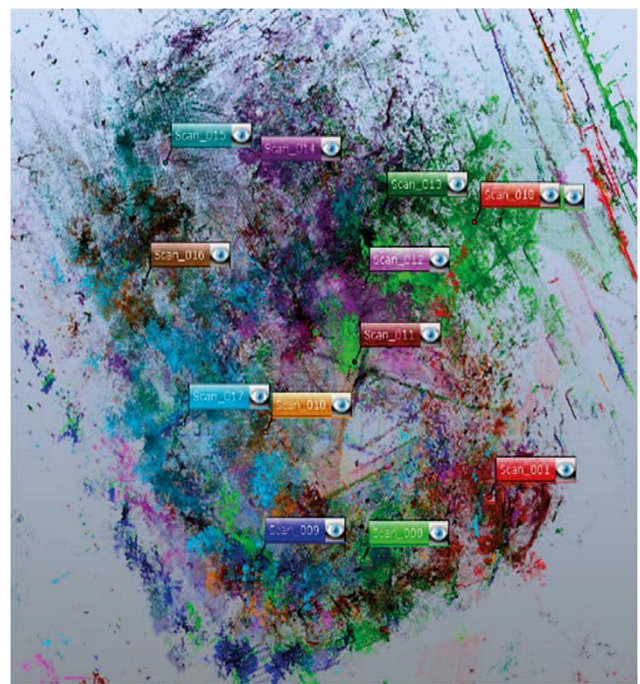


Рис. 6. Цифрова модель, отримана за допомогою програмного пакета Scene2019

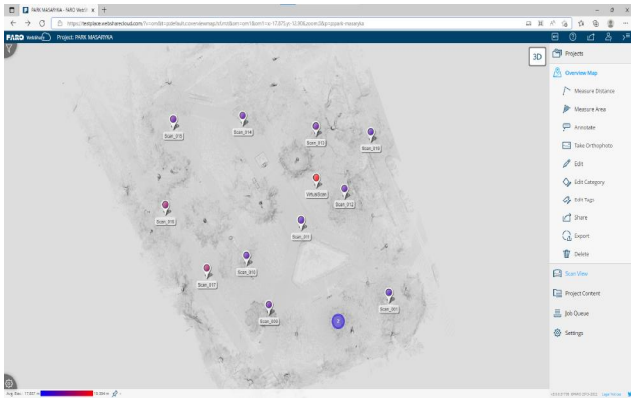


Рис. 7. Відображення вишукувань у сервісі FARO SCENE WebShare

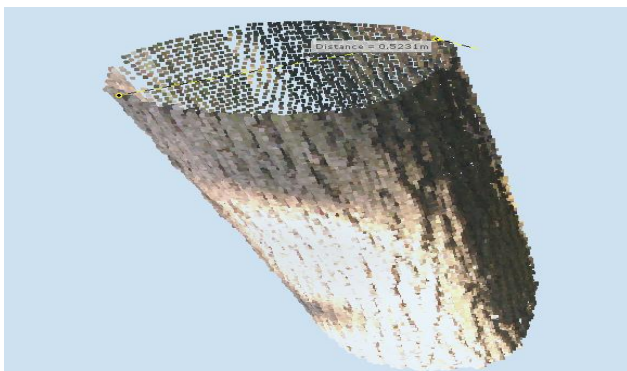


Рис. 8. Визначення характеристик стовбура в програмному пакеті FARO SCENE

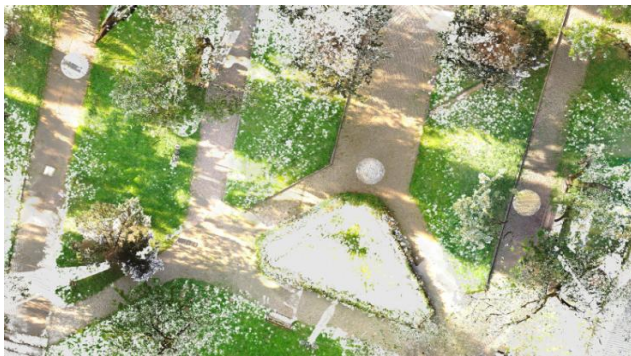


Рис. 9. Фрагмент ортофотоплану, згенерованого в сервісі FARO SCENE WebShare

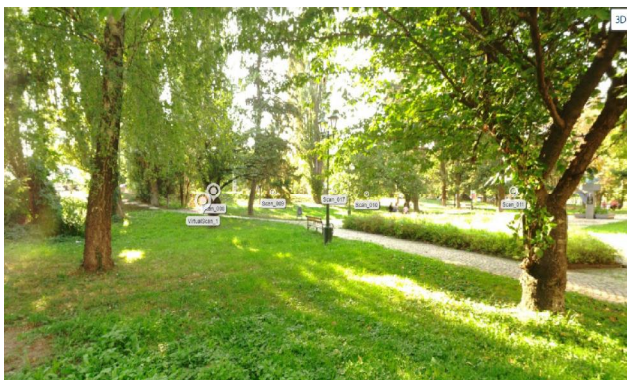


Рис. 10. Панорамне відображення зі станції знімання у сервісі FARO SCENE WebShare

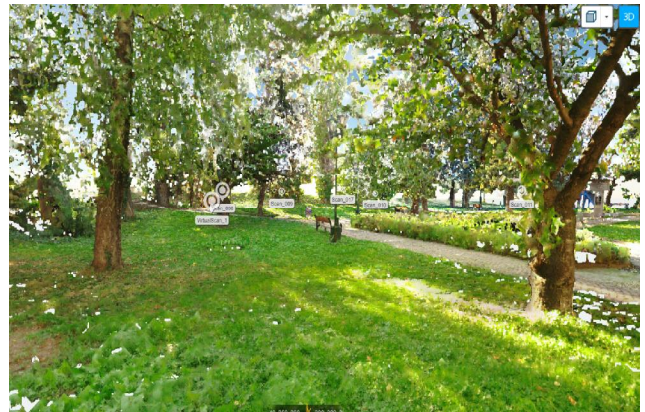


Рис. 11. 3D перегляд моделі зі станції знімання у сервісі FARO SCENE WebShare

Цей сервіс дає змогу користувачам із правом доступу для перегляду та редагування файлів виконувати дії щодо замірів (рис. 8), визначення площ окремих територій, створення приміток, ортофотопланів (рис. 9), створення та редагування категорій, виправлення позначень, що вирішує більшість завдань, пов'язаних із інвентаризацією зелених насаджень міст.

Крім вищенаведеного, сервіс дає змогу переглядати панорамні знімки території із точок сканування (рис. 10) та повноцінно працювати з моделлю у режимі 3D, зокрема зі станцій сканування (рис. 11).

Практична значущість

Отримані результати може використовувати муніципальна влада для упорядкування та догляду за сквером ім. Т. Масарика в Ужгороді.

Висновки

Сучасні тенденції вдосконалення процесів інвентаризації території, зокрема зелених насаджень, свідчать про перспективу розвитку цього напрямку на ринку з неодмінним використанням сучасних комп'ютерних технологій та новітніх методів отримання інформації.

У роботі наведено приклад інвентаризації зелених насаджень із використанням НЛС та визначено основні вимоги та базові принципи.

Здійснено порівняння інвентаризації зелених насаджень із використанням НЛС 2021 р. та інвентаризації, проведеної аналоговими методами 2017 р. Зроблено висновок про необхідність очищення скверу і догляду за ним.

Визначено основні можливості сервісу FARO WebShare як місця публікації результатів наземного лазерного сканування зелених насаджень.

Застосування новітніх методів отримання інформації для інвентаризації зелених насаджень є вимогою сучасності. Використання технологій наземного лазерного сканування територій зеленого господарства в

частині визначення необхідного якісного стану зелених насаджень потребує подальших досліджень.

Література

- Дудин Р. Б., Левусь Т. М. (2014). Теоретичні аспекти реконструкції парку Перені у місті Виноградіві Закарпатської області. *Науковий вісник НЛТУ України*, Вип. 24.4.
- Інструкція з технічної інвентаризації зелених насаджень у містах та селищах міського типу України: затверджено Наказом Державного комітету будівництва, архітектури та житлової політики України 24.12.2001 № 226; зареєстровано в Мін'юсті України 25.02. 2002 р. № 182/6470. 22 с.
- Інструкція з топографічного знімання у масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 та 1:500 (ГКНТА-2.04-02-98): затверджено Наказом Головного управління геодезії, картографії та кадастру при Кабінеті Міністрів України від 9 квітня 1998 р. № 56; зареєстровано в Мін'юсті України 23 червня 1998 р. за № 393/2833.
- Калинич І. В., Потіш Л. А., Мигаль А. В., Ваш Я. І., Москаль М. В., Сторожук А. О., Станкович М. М., Лавренюк М. В., Курта В. В., Степанов А. В. (2018). Створення просторових моделей об'єктів садово-паркового господарства на урбанізованих територіях. *Стан і перспективи природокористування в Україні*: матеріали III Всеукр. наук.-практ. інтернет-конференції (21–25 травня 2018 р., м. Ужгород). Ужгород: Говерла, 102 с.
- Ялова К. М. (2019). Концептуальні положення автоматизації моніторингу стану зелених насаджень міста. *Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво*. Луцьк.
- Boucher, P. V., Paynter, I., Orwig, D. A., Ilan, V., Crystal, S. (2021). Sampling forests with terrestrial laser scanning, *Annals of Botany*, Vol. 128, Is. 6, 2, November 2021, 689–708. <https://doi.org/10.1093/aob/mcab073>
- Calders, K., Adams, J., Armston, J. et al. (2020). Terrestrial laser scanning in forest ecology: expanding the horizon. *Remote Sensing of Environment*, 251:112102.
- Danson, F. M., Disney, M. I., Gaulton, R., Schaaf, C., Strahler, A. (2018). The terrestrial laser scanning revolution in forest ecology. *Interface Focus*, 8:20180001.
- Dai, W., Guan, Q., Cai, S., Liu, R., Chen, R., Liu, Q., Chen, C., Dong, Z. A. (2022). Comparison of the Performances of Unmanned-Aerial-Vehicle (UAV) and Terrestrial Laser Scanning for Forest Plot Canopy Cover Estimation in *Pinus massoniana* Forests. *Remote Sensing*, 14(5):1188. <https://doi.org/10.3390/rs14051188>.
- Demol, M., Calderys, K., Verbeeck, H., Gielen, B. (2021). Forest above-ground volume assessments with terrestrial laser scanning: a ground-truth validation experiment in temperate, managed forests. *Annals of Botany*, Vol. 128, Is. 6, 2 November 2021, 805–819. <https://doi.org/10.1093/aob/mcab110>
- Hauglin, M., Rahlf, J., Schumacher, J. et al. (2021). Large scale mapping of forest attributes using heterogeneous sets of airborne laser scanning and National Forest Inventory data. *For. Ecosyst.* 8, 65. <https://doi.org/10.1186/s40663-021-00338-4>
- Markku, Åkerblom, Pekka, Kaitaniemi (2021) Terrestrial laser scanning: a new standard of forest measuring and modelling? *Annals of Botany*, Vol. 128, Is. 6, 2 November 2021, 653–662. <https://doi.org/10.1093/aob/mcab111>.
- Newnham, G. J., Armston, J. D., Calderys, K., et al. (2015). Terrestrial laser scanning for plot-scale forest measurement. *Current Forestry Reports*, 1: 239–251
- Oruç, M. E. & Öztürk, İ. L. (2021). Usability of Terrestrial Laser Technique in Forest Management Planning. *Türkiye Lidar Dergisi*, 3 (1), 17–24. DOI: 10.51946/melid.922948.
- Rodríguez-Vivancos, A., Manzanera, J. A., Martín-Fernández, S. et al. (2022). Analysis of structure from motion and airborne laser scanning features for the evaluation of forest structure. *Eur. J. Forest Res.* <https://doi.org/10.1007/s10342-022-01447-7>
- Orwig, D. A., Boucher, P., Paynter, I., Saenz, E., Li, Z., Schaaf, C. (2018). The potential to characterize ecological data with terrestrial laser scanning in Harvard Forest, MA. *Interface Focus*, 8: 20170044.
- Persson, H. J., Olofsson, K., Holmgren, J. (2022). Two-phase forest inventory using very-high-resolution laser scanning. *Remote Sensing of Environment*, Vol. 271, 112909, ISSN 0034–4257. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2022.11290>.
- Pires Raul de P., Olofsson, K., Persson, H. Jan, Lindberg, E., Holmgren, J. (2022). Individual tree detection and estimation of stem attributes with mobile laser scanning along boreal forest roads. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 187, 211–224, ISSN 0924-2716. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2022.03.004>
- Puletti, N., Galluzzi, M., Grotti, M., Ferrara, C. (2021). Characterizing subcanopy structure of Mediterranean forests by terrestrial laser scanning data. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, Vol. 24, 100620, ISSN 2352–9385. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2021.100620>.
- Weiser, H., Schäfer, J., Winiwarter, L., Krašovec, N., Fassnacht, F. E., and Höfle, B. (2022). Individual tree point clouds and tree measurements from multi-platform laser scanning in German forests. *Earth Syst. Sci. Data Discuss.* [preprint], <https://doi.org/10.5194/essd-2022-39>, in review, 2022.
- Wilson, N., Bradstock, R., Bedward, M. (2022). Influence of fuel structure derived from terrestrial laser

scanning (TLS) on wildfire severity in logged forests. *Journal of Environmental Management*, Vol. 302, Part A, 114011. ISSN 0301-4797, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.114011>.

Wilkes, P., Lau, A., Disney, M., et al. (2017). Data acquisition considerations for terrestrial laser scanning of forest plots. *Remote Sensing of Environment* 196:140–153.

J. VASH¹, Y. GUBAR², I. KALYNYCH³, B. CHETVERIKOV⁴

¹ Department of Cadastre of Territories, Lviv Polytechnic National University, 12, S. Bandery str., Lviv, 79013, Ukraine, E-mail: yaroslav.i.vash@lpnu.ua

² Department of Cadastre of Territories, Lviv Polytechnic National University, 12, S. Bandery str., Lviv, 79013, Ukraine, E-mail: yurii.p.hubar@lpnu.ua

³ Department of Land Management and Cadastre, Uzhhorod National University, 14, University str., Uzhhorod, 88000, Ukraine, E-mail:ivan.kalynych@uzhnu.edu.ua

⁴ Department of Photogrammetry and Geoinformatics, Lviv Polytechnic National University, 12, S. Bandery str., Lviv, 79013, Ukraine, +38 (063) 1671585, e-mail:chetverikov@email.ua

INVENTORY OF GARDEN AND PARK FACILITIES T. MASARYK SQUARE UZHGOROD USING NLS

Goal. The aim of the work was to show the main stages and prospects of analysis of the obtained data of ground laser scanning of small groups of green areas of cities on the example of T. Masaryk Square in Uzhgorod, as well as to compare this technology with the classical method of inventory of green areas. **Method.** The paper highlights the features of the inventory of garden and park facilities using ground-based laser scanning (NLS). The method of not only determination of existence of objects of green economy but also their characteristics is offered. The inventory of green plantations and the results of its application are described on the example of T. Masaryk Square in Uzhhorod. A comparison of inventory data collected by analog methods in 2017 and NLS data in 2021. Inventory of green plantations is carried out in accordance with the Instruction on technical inventory of green plantations in cities and towns of Ukraine every five years from April to October and provides: determination of the total area occupied by green facilities, including trees, shrubs, flower beds, lawns, trails, etc.; determination of the number of trees and shrubs by types of plantings, species, age, diameter at a height of 1.3 m of tree trunks and the state of their content; determining the value of the object as a whole and its individual areas; timely introduction of changes that have taken place in green areas, in drawings, passports of green facilities and summary data on green areas of the settlement. During the inventory, the following was carried out: determination of the total area occupied by green facilities, including trees, shrubs, flower beds, lawns, paths, etc.; determination of the number of trees and shrubs by type of plantings, species, age, diameter at a height of 1.3 m of tree trunks and the state of their maintenance; determining the value of the object as a whole and its individual areas; timely introduction of changes that have taken place in green areas, in the drawings, passports of green facilities and summary data on greenery of the settlement. **Results.** As a result of the research, a laser scan of T. Masaryk Square in Uzhhorod was performed and the obtained data were processed. A detailed inventory of greenery on the Independence Embankment, namely on the territory of the memorial square Masaryk. After sub-tree accounting, 106 tree species of different species were studied. Conifers – 3 species, deciduous – 12. During the inventory of sanitary conditions, the following number of trees in each category: I category – 49; II category – 33; III category – 1; IV category – 27; V category – 1. The general sanitary assessment of plantings is satisfactory with insignificant drought and emergency plantations of white poplar that need to be replaced. **Practical value.** The obtained results can be used by the municipal authorities to tidy up and take care of T. Masaryk Square in Uzhhorod.

Key words: ground laser scanning; NLS; the state of greenery; inventory; greenery; parks; squares; GIS.

References

- Bidolax, D. I., Laky, P. I. (2019). Inventory of green areas and their maintenance with modern information technologies. *Lisove i sadovo-parkove gospodarstvo*.
 Department of ecology and environmental protection of Zakarpats'koyi oblasnoyi derzhavnoyi administraciyi. Oficijnyj veb-sajt.
 URL: https://ecozakarp.at.gov.ua/?page_id=13
- Dudy, R. B., Levus, T. M. (2014). Teoretichni aspekty rekonstrukciji parku Pereni u misti Vy'nogradovi Zakarpats'koyi oblasti. *Naukovyj visnyk NLTU Ukrayiny*, Vyp. 24.4

- Instrukciya z texnichnoyi inventary`zacyi zeleny`x nasadzen` u mistax ta sely`shhax mis`kogo ty`pu Ukrayiny`, zatverdzheno Nakazom Derzhavnogo komitetu budivny`cztva, arxitektury` ta zhy`tlovoyi polity`ky` Ukrayiny` 24.12.2001 No. 226, Zareyestrovano v Min'yusti Ukrayiny` 25.02. 2002 r. No. 182/6470. 22 s.
- Instrukciya z topografichnogo znimannya u masshtabax 1:5000, 1:2000, 1:1000 ta 1:500 (GKNTA-2.04-02-98): zatverdzheno Nakazom Golovnogo upravlinnya geodeziyi, kartografiyi ta kadastru pry` Kabineti Ministriv Ukrayiny` vid 9 kvitnya 1998 r. No. 56, Zareyestrovano v Min'yusti Ukrayiny` 23 chervnya 1998 r. za No. 393/2833.
- Kaly`ny`ch, I. V., Potish, L. A., My`gal`, A. V., Vash Ya. I., Moskal, M. V., Storozhuk, A. O., Stankovy`ch, M. M., Lavrenyuk, M. V., Kurta, V. V., Stepanov, A. V. (2018). Stvorenniya prostorovy`x modelej ob'yektiv sadovoparkovogo gospodarstva na urbanizovany`x tery`toriyax. Stan i perspekty`vy` pry`rodokory`stuvannya v Ukrayini: materialy` III Vseukrayins`koyi nauk.-prakt. internet-konferenciyi (21-25 travnya 2018 roku, m. Uzhgorod). Uzhgorod: Goverla, 102 s.
- Yalova, K. M. (2019). Konceptual`ni polozhennya avtomaty`zacyi monitory`ngu stanu zeleny`x nasadzen` mista. *Komp'yuterno-integrovani texnologiyi: osvita, nauka, vy`robny`cztvo*. Lucz`k.
- Boucher, P. B., Paynter, I., Orwig, D. A., Ilan, V., Crystal, S. (2021). Sampling forests with terrestrial laser scanning. *Annals of Botany*, Vol. 128, Is. 6, 2 November 2021, 689–708. <https://doi.org/10.1093/aob/mcab073>
- Calders, K., Adams, J., Armston, J., et al. (2020). Terrestrial laser scanning in forest ecology: expanding the horizon. *Remote Sensing of Environment* 251: 112102.
- Danson, F. M., Disney, M. I., Gaulton, R., Schaaf, C., Strahler, A. (2018). The terrestrial laser scanning revolution in forest ecology. *Interface Focus*, 8:20180001.
- Dai, W., Guan, Q., Cai, S., Liu, R., Chen, R., Liu, Q., Chen, C., Dong, Z. A. (2022). Comparison of the Performances of Unmanned-Aerial-Vehicle (UAV) and Terrestrial Laser Scanning for Forest Plot Canopy Cover Estimation in Pinus massoniana Forests. *Remote Sensing*, 14(5):1188. <https://doi.org/10.3390/rs14051188>.
- Demol, M., Calders, K., Verbeeck, H., Gielen, B. (2021). Forest above-ground volume assessments with terrestrial laser scanning: a ground-truth validation experiment in temperate, managed forests. *Annals of Botany*, Vol. 128, Is. 6, 2 November 2021, 805–819. <https://doi.org/10.1093/aob/mcab110>
- Hauglin, M., Rahlf, J., Schumacher, J. et al. (2021). Large scale mapping of forest attributes using heterogeneous sets of airborne laser scanning and National Forest Inventory data. *For. Ecosyst.* 8, 65. <https://doi.org/10.1186/s40663-021-00338-4>
- Markku, Á., Pekka, K. (2021) Terrestrial laser scanning: a new standard of forest measuring and modelling? *Annals of Botany*, Vol. 128, Is. 6, 2 November 2021, 653–662. <https://doi.org/10.1093/aob/mcab111>
- Newnham, G. J., Armston, J. D., Calders, K., et al. (2015). Terrestrial laser scanning for plot-scale forest measurement. *Current Forestry Reports* 1: 239–251.
- Oruç, M. E. & Öztürk, İ. L. (2021). Usability of Terrestrial Laser Technique in Forest Management Planning. *Türkiye Lidar Dergisi*, 3 (1), 17–24. DOI: 10.51946/melid.922948.
- Rodríguez-Vivancos, A., Manzanera, J. A., Martín-Fernández, S. et al. (2022). Analysis of structure from motion and airborne laser scanning features for the evaluation of forest structure. *Eur. J. Forest Res.* <https://doi.org/10.1007/s10342-022-01447-7>
- Orwig, D. A., Boucher, P., Paynter, I., Saenz, E., Li, Z., Schaaf, C. (2018). The potential to characterize ecological data with terrestrial laser scanning in Harvard Forest, MA. *Interface Focus*, 8: 20170044.
- Persson, H. J., Olofsson, K., Holmgren, J. (2022). Two-phase forest inventory using very-high-resolution laser scanning. *Remote Sensing of Environment*, Vol. 271, 112909. ISSN 0034-4257. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2022.11290>
- Pires, Raul de P., Olofsson, K., Persson, H. Jan, Lindberg, E., Holmgren, J. (2022). Individual tree detection and estimation of stem attributes with mobile laser scanning along boreal forest roads. *Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 187, 211–224. ISSN 0924-2716. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2022.03.004>.
- Puletti, N., Galluzzi, M., Grotti, M., Ferrara, C. (2021). Characterizing subcanopy structure of Mediterranean forests by terrestrial laser scanning data. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, Vol. 24, 2021100620. ISSN 2352-9385. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2021.100620>.
- Weiser, H., Schäfer, J., Winiwarter, L., Krašovec, N., Fassnacht, F. E., and Höfle, B. (2022). Individual tree point clouds and tree measurements from multi-platform laser scanning in German forests. *Earth Syst. Sci. Data Discuss* [preprint]. <https://doi.org/10.5194/essd-2022-39>, in review, 2022.
- Wilson, N., Bradstock, R., Bedward, M. (2022). Influence of fuel structure derived from terrestrial laser scanning (TLS) on wildfire severity in logged forests. *Journal of Environmental Management*, Vol. 302, Part A, 114011. ISSN 0301-4797. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.114011>.
- Wilkes, P., Lau, A., Disney, M. et al. (2017). Data acquisition considerations for terrestrial laser scanning of forest plots. *Remote Sensing of Environment*, 196:140–153