

## ОСОБЛИВОСТІ ІНВЕНТАРИЗАЦІЇ ЗЕЛЕНИХ НАСАДЖЕНЬ АВТОМАТИЗОВАНИМИ МЕТОДАМИ НАЗЕМНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНУВАННЯ

**Мета** цієї роботи – дослідження процесу отримання необхідної інформації про метричні показники невеликих за площею лінійно розташованих масивів та поодиноких зелених насаджень на переважно урбанізованих територіях та застосування результатів опрацювання даних під час складання топографічних та спеціальних карт із відповідних матеріалів сканування території. **Методика.** З цією метою дослідженню підлягають методи наземного лазерного сканування, динамічного лазерного сканування як джерело даних для подеревного знімання території та як інформаційна база для наповнення відповідних кадастрів. Досліджено можливості використання цих методів для одержання інформації про зелені насадження за допомогою сучасних програмних засобів. На основі даних наземного лазерного сканування, виконаного відповідно до вимог нормативних документів із геопросторовою прив'язкою, опрацьовано дані наземного лазерного сканування з використанням автоматизованих методів, а саме програмного комплексу TerraSolid. Підтверджено необхідність більше ніж 40 % покриття стовбура дерева хмарою точок, отриманою з лазерного сканування, щоб уникнути можливих помилок під час визначення відповідних показників у зв'язку з неоднорідністю будови різних стовбурів дерев. Попереднє опрацювання матеріалів сканування виконано за допомогою програмного забезпечення FARO Scene 2020. **Наукова новизна та практична значущість.** Виконано експериментальний аналіз створення планово-висотної основи та інформаційної бази про зелені насадження на вибраних об'єктах на території Закарпатської області. Удосконалено технологію отримання даних про зелені насадження, без використання класичних методів топографо-геодезичних робіт, із застосуванням наземного лазерного сканування та частково GNSS вимірювань. У результаті на території досліджуваних об'єктів автоматизованими методами створено таблицю цих зелених насаджень з інформацією про їх розташування у прийнятій системі координат та діаметром стовбура на висоті 1,3 м.

*Ключові слова:* наземне лазерне сканування; автоматизовані методи; стовбур дерева; діаметр; цифрові моделі поверхні; інвентаризація зелених насаджень.

### Вступ

Інформація про об'єкти зеленого господарства належить до складових життєдіяльності територій, зокрема урбанізованих. Матеріали інвентаризації зелених насаджень є одними зі складових ведення різних кадастрів, зокрема складовими великомасштабних топографічних зніманих. Класична інвентаризація зелених насаджень – тривалий процес, що в частині випадків є дорогим чи неточним порівняно із сучасними способами наповнення інформацією різних кадастрів.

Інвентаризація зелених насаджень здійснюється відповідно до Інструкції з технічної інвентаризації зелених насаджень [Верховна Рада України, 2001] 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 чагар-

ників 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.

Вимоги до технології вимірювання зелених насаджень в Україні поки що не регламентовані, крім вимог, передбачених Інструкцією з топографічного знімання в масштабах 1: 5000, 1: 2000, 1: 1000 та 1: 500 [Верховна Рада України, 1998].

Останнім часом розробляють методи та засоби, кінцевою метою яких є застосування сучасних автоматизованих методів для інвентаризації зелених насаджень та оцінювання території. Серед них необхідно висвітлити дослідження щодо використання даних про інвентаризації зелених насаджень та утримання різних кадастрів за допомогою цифрового аерознімання, статичного та динамічного наземного лазерного сканування, наземної фотограмметрії, фотограмметрії з вико-

ристанням спеціалізованих камер з ефектом риб'ячого ока (FEP), пристроїв віртуальної реальності (MRDC) [Fol et al., 2023], високошвидкісного персонального лазерного сканування (PLS) і технології одночасної локалізації та картографії (SLAM) [Tockner et al., 2022], побутових фотоапаратів, смартфонів із відповідними спеціалізованими додатками [Gollob et al., 2021].

У сучасному світі різні види сканування використовують не тільки для моделювання та збереження даних про важливі історичні та архітектурні об'єкти, дослідження унікальних об'єктів промисловості та мистецтва, але і як засіб отримання інформації про навколишній світ як джерело даних ДЗЗ.

Хмари точок є доволі ефективним інструментом для інвентаризації, оскільки дають змогу швидко та точно одержати 3D-модель об'єкта, зокрема, виконувати такі завдання, як вимірювання висоти та об'єму об'єкта, а також отримання точних координат його елементів. Крім того, у разі використання хмар точок не виникають грубі помилки, як під час ручного вимірювання.

Хмари точок, отримані із наземного лазерного сканування, можна використати для створення точних 3D-моделей стовбурів зелених насаджень. Це дає змогу визначити діаметр, висоту та форму стовбурів із точністю до кількох міліметрів.

Хмарами точок також можна скористатися для визначення основних параметрів зелених насаджень, зокрема густоти крони та розміщення на місцевостях поодиноких дерев, і великих за площею територій, що уможливило моніторинг змін у рослинному покриві з часом.

Проблематика застосування автоматизованих технологій під час інвентаризації зелених насаджень широко досліджується протягом останніх десятиліть. Відзначимо широкий спектр досліджень процесів автоматизації у світі, частину з яких висвітлено в роботах [Kalvoda et al., 2020; Kuželka et al., 2021; et al., 2020; Wang et al., 2019; Tockner et al., 2022; Witzmann et al., 2022]. В Україні це питання теж порушують, зокрема, розроблено концептуальні положення автоматизації моніторингу стану зелених насаджень міст [Ялова, 2019].

У роботі [Роговський, 2021] висвітлено проблематику якості проведення інвентаризації зелених насаджень в Україні.

Здійснено дослідження щодо оптимізації виконання наземного лазерного сканування у цілях інвентаризації зелених насаджень [Abegg et al., 2017; Vash et al. 2022].

Частиною вже оприлюднених рішень щодо інвентаризації зелених насаджень є розроблене програмне забезпечення із використанням матеріалів різних видів дистанційних досліджень, зокрема, можливостей штучного інтелекту. Деякі з рішень вже успішно випробувані під час масової інвентаризації зелених насаджень, зокрема метод MTLA-AIDFOREST [Serrano et al., 2022]. Це програмне забезпечення здатне автоматизовано визначати характеристики лісових насаджень у режимі реального часу за допомогою рухомої лазерної сканувальної системи на основі шолома віртуальної реальності [Li et al., 2023].

Вищенаведені методи та програмне забезпечення не є вичерпними. Більшість сучасних геоінформаційних ресурсів за певних налаштувань дають змогу автоматизувати певні процеси під час ідентифікації зелених насаджень. Зокрема, в роботах [Ritter et al., 2017; Tockner et al., 2022] для досліджуваних цілей використано програмне забезпечення R.

У дослідженні [Wilkes et al., 2022] сегментовано дерева з коефіцієнтом відповідності 82 %.

Згідно роботи [Liang et al., 2018] підходи на основі TLS можуть забезпечити оцінки DBH і кривої стовбура з точністю 1–2 см, що є близьким до того, що потрібно в практичних застосуваннях, наприклад, інвентаризації. Також визначено п'ять безпосередньо вимірних критеріїв із даних TLS на рівні ділянки та дерева: діаметр на висоті грудей (1,3 м, DBH), висота дерева, положення дерева, крива стовбура (діаметр стовбура як функція висоти) і цифрова модель рельєфу (DTM).

Згідно із роботою [Trochta et al., 2017] метод LSR забезпечив трохи вищі значення, ніж вимірювання звичайним штангенциркулем – 1,17 см.

У пілотних дослідженнях [Maas et al., 2008] понад 97 % дерев вдалося виявити правильно, а DBH можна було визначити з точністю близько 1,8 см.

У праці [Liang et al., 2016] структуровано залежність між середньою відстанню сканування, густиною стебла та похибками оцінювання висоти на рівні грудей, яка коливалась від 0,2 см до

7,6 см за різних підходів та встановлено помилки від 0,1 до 1,5 м під час визначення висот.

### Мета

Мета роботи – дослідження автоматизованих методів отримання необхідної інформації про розташування дерев, діаметр їх стовбура на рівні грудей під час проведенні інвентаризації зелених насаджень за матеріалами наземного лазерного сканування території та їх порівняння з аналоговими методами.

### Методика досліджень

Як зазначено у [Семко, 2015], для поставлених цілей можна використати можливості програмного забезпечення TerraScan фінської компанії Terrasolid із використанням певних функціональних можливостей ArcGIS. Відповідно до [TerraScan User Guide] повітряні та мобільні дані можна використовувати, щоб створити основу для інвентаризації дерев, що забезпечує розташу-

вання XYZ, а також інформацію про ширину їх стовбура та висоту в результаті повністю автоматизованого процесу. Використовуючи додаткові дані датчиків, можна отримати ще більше інформації. Загальну схему дослідження наведено на рис. 1.

Однією із основних проблем використання наземних лазерних сканерів, зокрема лазерного FARO FOCUS S150, результати роботи якого запропоновано опрацювати згідно із роботою [Ваш та ін., 2022], для інвентаризації зелених насаджень є обмежена точність сканування в області гілок, листя дерев та кущів, що може призвести до невідповідності під час визначення їх кількості та обсягу. Крім того, сканування може ускладнитись наявністю інших об'єктів, таких як будівлі, транспортні засоби, люди тощо, що може вплинути на точність та повноту отриманих даних, а також необхідність додаткових вимірювань для визначення інших параметрів дерев, наприклад обсягу деревини.



Рис. 1. Структурна блок-схема дослідження

### Результати досліджень

#### Збирання та опрацювання даних

На першому етапі виконано збирання та аналіз даних здійсненого наземного лазерного сканування та GNSS вимірювань. Мета GNSS спостереження – якісна геопросторова прив'язка матеріалів наземного лазерного сканування.

Попереднє опрацювання матеріалів наземного лазерного сканування виконано з використанням програмного забезпечення FARO Scene 2020. Хмари точок опрацьовано з дотриманням принципів та схем, наведених у праці [Stoli, 2014].

Надалі хмари точок на всіх етапах дослідження опрацьовані в форматі .las.

Для класифікації даних на вибраному об'єкті наземного лазерного сканування – сквері Т. Ма-

сарика у м. Ужгород [Ваш, 2022] використано програмне забезпечення TerraScan фінської компанії Terrasolid, згідно із рекомендаціями [Семко, 2015], з доступними модулями TerraMatch UAV, TerraModeler UAV, TerraScan UAV.

Операції з програмним забезпеченням FARO Scene 2020 та TerraMatch UAV, TerraModeler UAV, TerraScan UAV виконано на базі ліцензіата – УЖНУ.

Класифікація даних у цьому програмному забезпеченні містить широкий спектр налаштувань фільтрації даних. Для зручності користувачів основні з них об'єднано в розділі "Wizard" (майстер), їх використано для створення типових проєктів із наборів даних про навколишнє середовище. Зокрема в цьому розділі міститься функція "Classify ground" (Класифікація поверхні) з

якої, відповідно до роботи [Семко, 2015], можна розпочинати класифікацію даних, для визначення точок, що належать до класу земної поверхні.

Згруповані дані отриманих класів високої рослинності та дерев, які можливо використовувати для подальших досліджень, наведено на рис. 2.

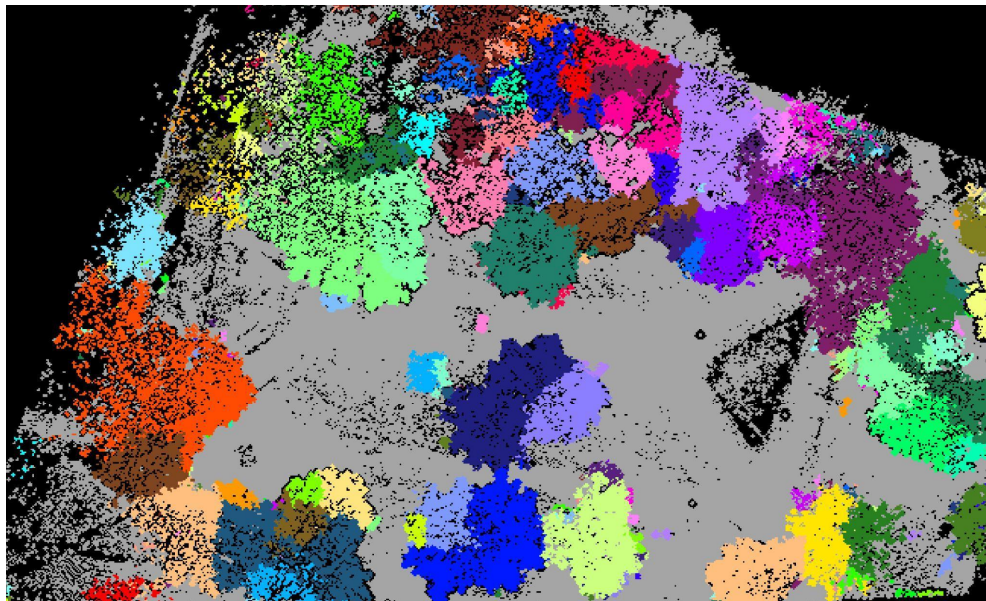


Рис. 2. Згруповані дані класів високої рослинності та дерев, отримані в програмному забезпеченні Terrasolid

**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
Клас об'єктів	Кількість точок	Min. Z	Max. Z
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

Процес опрацювання наземних лазерних даних розпочинався із фільтрації хмар точок, а саме видалення частин поверхонь із хмар точок, що перебивають одна одну, згладжування та

прибирання шуму, видалення віддалених, ізольованих, розташованих у повітрі та під поверхнею землі явно помилкових точок. Ці функції виконували з індивідуальними налаштуваннями для отримання максимально коректних даних та можливості їх подальшої класифікації. Одержані дані з приведенням хмари точок до нормалізованого стану наведено в таблиці.

**Отримання інформації про зелені насадження**

Надалі для зручності опрацювань залишено два класи – поверхня та дерева, до якого перенесено дані з класу високої рослинності (рис. 3). Після нормалізації хмари точок для вирішення поставленого завдання здійснено фільтрацію хмари точок класу дерев на висоті 1,3 м над поверхнею землі за декілька етапів.

Першим кроком було виділено та виокремлено точки, розміщені на висоті від 129 до 131 см, згідно із рекомендаціями, викладеними у [Семко, 2015], над поверхнею території та сформовано набори хмар точок для подальшого опрацювання у вигляді окремих перерізів стовбурів (рис. 4).

Отримані дані дають змогу в ручному режимі визначити основні шукані значення.



Подальший аналіз передбачав побудову кіл стовбура навколо даних. Реалізація цього процесу ручним способом звичайно триває доволі довго. Тому для визначення діаметрів дерев використали алгоритми апроксимації кола в арифметичному варіанті [Strzeliński, 2008]. Для реалізації цього методу використано інструмент моделювання за назвою Cell у програмному забезпеченні Terrasolid та для порівняння інструмент “Minimum Bounding Geometry” в програмному забезпеченні ArcGIS.

Як бачимо з рис. 5, для отримання якісних даних необхідно виконати фільтрацію хмар точок не тільки на висоті 1,3 м, але і на інших.

Послідовність дій для ідентифікації дерева подібна до наведеної у [Serrano et al., 2022]. Поточна версія програмного забезпечення AID-Forest оптимізована для оцінювання загального об'єму окремих стебел (одностовбурове розгалуження), але не для кількох стебел або гілок (багатостовбурове розгалуження).

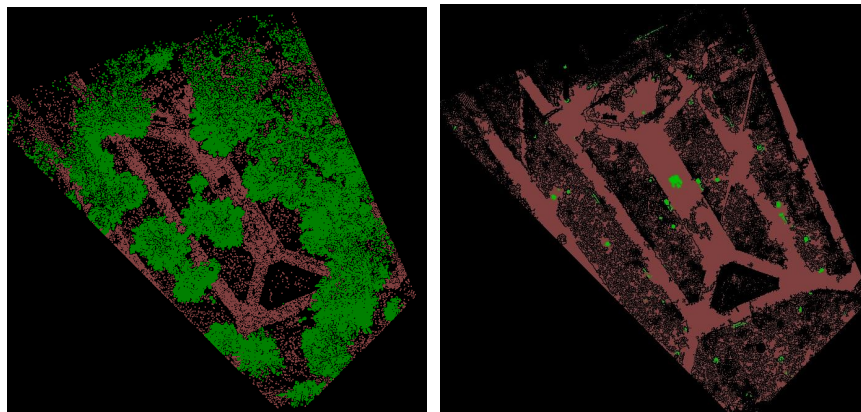


Рис. 3, 4. Результати хмари точок після її класифікації, отримані в програмному забезпеченні Terrasolid

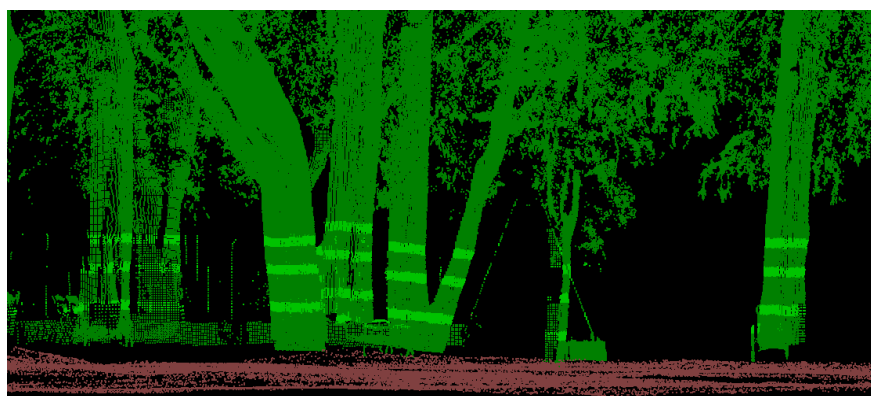


Рис. 5. Фільтрація хмар точок із визначеними перерізами, отриманих у програмному забезпеченні Terrasolid



Рис. 6. Графічне відображення моделювання об'єкта дослідження, отримане в програмному забезпеченні Terrasolid

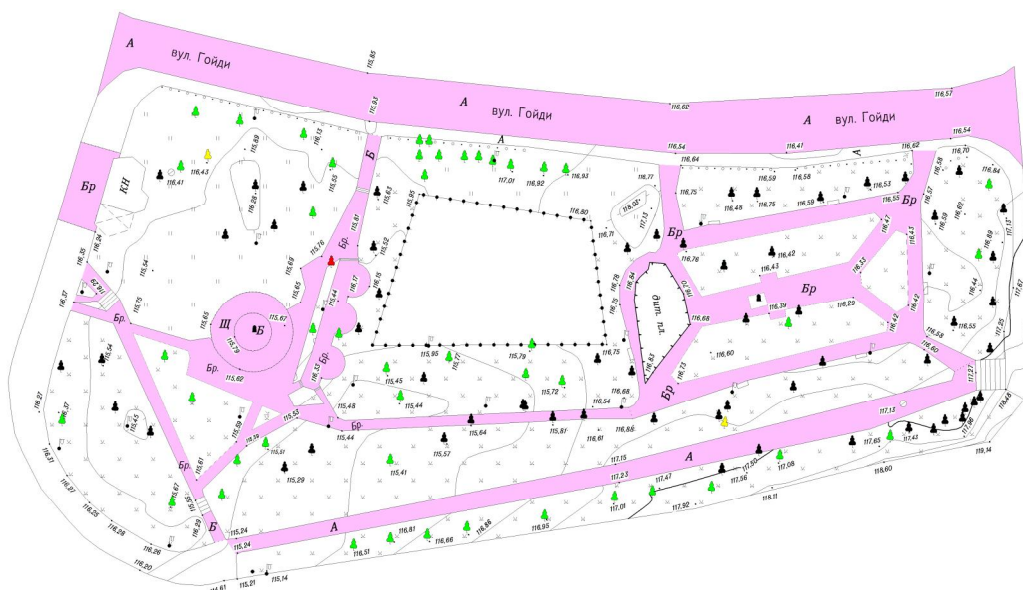


Рис. 7. Матеріали інвентаризації зелених насаджень скверу Т. Масарика в Ужгороді

Згідно із [TerraScan User Guide] здійснено моделювання розташування зелених насаджень з використанням типових доступних моделей за назвами “Betula pendula” та “Picea abies” методом ідентифікації стовбура (рис. 6), оскільки метод ідентифікації найвищої точки, що найкраще підходить для ідентифікації зелених насаджень у разі використання хмар точок з повітряного лідарного знімання, дає переважно занадто багато помилкових значень.

У результаті оброблення одержано дані із зазначенням координат стовбура дерева, його висоти і діаметра стовбура на висоті 1,3 м.

### Порівняння даних

На завершальному етапі порівняно отримані дані розташування 30 дерев із діаметром та висотою, визначеними автоматизованими методами з матеріалами класичної інвентаризації зелених насаджень [Ваш, 2022], що показана на рис. 7.

Встановлено, що помилки визначення діаметра стовбура на висоті 1,3 м були в діапазоні – 2,3–3,4 см з коефіцієнтом відповідності 96 %, що підтверджує результати [Liang et al, 2016; Trochta et al, 2017; Liang et al, 2018; Wilkes et al., 2022].

### Наукова новизна та практична значущість

Наукова новизна проведених досліджень полягає у доведенні можливості створення планово-висотної основи та інформаційної бази про зелені насадження на вибраних об’єктах на території Закарпатської області.

Удосконалено технологію отримання даних про зелені насадження, без використання класичних методів топографо-геодезичних робіт, із застосуванням наземного лазерного сканування та частково GNSS вимірювань.

Практичне значення одержаних результатів полягає у доведенні можливості використання автоматизованих технологій отримання даних про зелені насадження та їх подальшого використання для цілей створення (оновлення) планово-картографічних матеріалів та ведення галузевих кадастрів, зокрема містобудівного [Верховна Рада України, 2011].

### Висновки

Точну сегментацію дерева вважають важливою функціональністю автоматизованого 3D-аналізу хмари точок, вона слугує передумовою для вимірювання характеристик окремих дерев.

На основі даних наземного лазерного сканування, виконаного відповідно до вимог нормативних документів із геопросторовою прив’язкою, опрацьовано дані наземного лазерного сканування за допомогою автоматизованих методів з використанням програмного комплексу Terrasolid.

У результаті на території досліджуваного об’єкта автоматизованими методами створено таблицю цих зелених насаджень з інформацією про їх розташування у прийнятій системі координат та діаметром стовбура на висоті 1,3 м.

Отримані дані порівняно з матеріалами класичної інвентаризації зелених насаджень скверу

Т. Масарика в Ужгороді та визначено необхідність перевірки даних, отриманих автоматизованими методами, зокрема за наявності багатостовбурових розгалужень.

Підтверджено необхідність понад 40 % покриття стовбура дерева хмарою точок, отриманою із лазерного сканування, щоб уникнути можливих помилок під час визначення відповідних показників у зв'язку з неоднорідністю будови різних стовбурів дерев.

Автоматизовані методи частини програмних рішень, що позиціонують автоматичність отримання інформації про зелені насадження з хмар точок, продовжують вдосконалювати.

Разом з тим зазначено, що вдосконалення автоматизації отримання якісної та точної інформації з матеріалів наземного лазерного сканування триває. З цією метою застосовують сучасні методи та засоби, що дають змогу як здійснювати збирання даних, так і опрацьовувати їх, зокрема, щоб отримати дані про вид та санітарний стан насаджень.

Подальшого дослідження потребує методика визначення центрів дерев у випадках неповного покриття хмарою точок стовбура дерева у нижній його частині та діаметра стовбура на рівні грудей, особливо за двостовбурового та багатостовбурового розгалуження стовбура.

### Література

- Ваш Я., Губар Ю., Калинич І., Четверіков Б. Інвентаризація об'єктів садово-паркового господарства скверу Т. Масарика м. Ужгород із використанням НЛС. *Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва*: зб. наук. праць Західного геодезичного товариства УТГК. 2022. Вип. 2 (44). С. 121–129. <https://doi.org/10.33841/1819-1339-2-44-121-129>
- Верховна Рада України (1998). Про затвердження Інструкції з топографічного знімання в масштабах 1: 5000, 1: 2000, 1: 1000 та 1: 500 (ДСТУ 2.04-02-98). Укргеодезкартографія; Розпорядження 9 квітня № 56.
- Верховна Рада України (2001). Про затвердження Інструкції з інвентаризації зелених насаджень у населених пунктах України: Наказ від 24 грудня № 226 Державного комітету будівництва, архітектури та житлової політики України.
- Верховна Рада України (2011). Про містобудівний кадастр: Постанова Кабінету Міністрів України від 25 травня 2011 року № 559.
- Семко І. Д. (2015). Метод визначення надземної фітомаси деревостану сосни звичайної на основі матеріалів авіаційної лідарної зйомки: дис. ... канд. техн. наук. Київ. 135 с.
- Роговський С. В., Олешко О. Г., Жихарєва К. В., 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 наук. праць*. Львів: РВВ НЛТУ України. Том 31. № 5. С. 60–66.
- Ялова К. М. (2019). Концептуальні положення автоматизації моніторингу стану зелених насаджень міста. *Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво*. Вип. С. 112–116. Луцьк. <http://cit-journal.com.ua/index.php/cit/article/view/84>
- Abegg, M., Kükenbrink, D., Zell, J., Schaeppman, M. E., & Morsdorf, F. (2017). Terrestrial laser scanning for forest inventories – tree diameter distribution and scanner location impact on occlusion. *Forests*, 8(6), 184. <https://doi.org/10.3390/f8060184>
- 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, 103396, <https://doi.org/10.1016/j.jag.2023.103396>
- 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), 3129. <https://doi.org/10.3390/rs13163129>
- Kalvoda P., Nosek J, Kuruc M., Volarik T. and Kalvodova P. (2020) Accuracy Evaluation and Comparison of Mobile Laser Scanning and Mobile Photogrammetry Data. 2020. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Vol. 609. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/609/1/012091>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2021.06.013>
- Li J., Yang B., Yang Y., Zhao X., Liao Y., Zhu N., Dai W., Liu R., Chen R., Dong Z. (2023). Real-time automated forest field inventory using a compact low-cost helmet-based laser scanning system. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.*, 118, 103299, <https://doi.org/10.1016/j.jag.2023.103299>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2018.06.021>
- 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.

- 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 inventory using LiDAR point clouds. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 113, 103014. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2022.103014>.
- 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.
- 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. <https://doi.org/10.3390/f8080265>
- Stoli, S., & Rex, D. (2014). Applications of 3D Laser Scanning in a Production Environment.
- Strzebiński P., Jagodziński A. M., Wencel A., Zawila Niedźwiecki T. (2008). Szacowanie zasobów węgla w lasach z wykorzystaniem technik geomatycznych. *Techniki geomatyczne w inwentaryzacji lasu — potrzeby i możliwości*. Warszawa: Wyd. SGGW, 114–125.
- TerraScan User Guide URL: <https://www.terrasolid.com/guides/tscan/crtrees.html>
- 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, 103025. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2022.103025>
- 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), e0176871. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0176871>
- Vash, Y., Hubar, Yu. (2022) The method of optimizing measurements with a ground laser scanner of the green plants of T. Masarik park in Uzhgorod. In *International Conference of Young Professionals, GeoTerrace 2022*, 1, 1–5. European Association of Geoscientists & Engineers. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2022590048>
- Wang, Y., Pyörälä, J., Liang, X., Lehtomäki, M., Kukko, A., Yu, X., ... & Hyyppä, 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, 111309. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111309>
- 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*. <https://doi.org/10.1101/2022.12.07.518693>
- 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. <https://doi.org/10.3390/rs14081923>

#### YAROSLAV VASH

Department of Cadastre of Territories, Lviv Polytechnic National University, 12, Bandery str., Lviv, 79013, Ukraine, e-mail: yaroslav.i.vash@lpnu.ua, <https://orcid.org/0000-0002-7570-0437>

#### FEATURES OF INVENTORY OF GREEN PLANTINGS BY AUTOMATED TERRESTRIAL LASER SCANNING METHODS

The aim of this work is to investigate the process of obtaining necessary information about the metric parameters of small-area arrays, linearly arranged and individual green plantings on predominantly urbanized territories, and to apply the results of data processing in the compilation of topographic and special maps from the corresponding scanning materials. Methodology. For this purpose, terrestrial laser scanning methods, dynamic laser scanning as a data source for tree-level mapping of the territory, and as an information base for filling in the respective cadastres are subject to research. The possibilities of using data from these methods to obtain information about green plantings using modern software tools have been explored. Based on terrestrial laser scanning data performed in accordance with the requirements of regulatory spatial reference documents, data processing of terrestrial laser scanning was carried out using automated methods, namely the Terrasolid software suite. The need for more than 40 % coverage of the tree trunk with a point cloud obtained from laser scanning to eliminate possible errors in determining the relevant parameters due to the heterogeneity of the structure of different tree trunks has been confirmed. Preliminary processing of scanning materials was carried out using FARO Scene 2020 software. Scientific novelty and practical significance. An experimental analysis of the creation of a plan-altitude base and an information base about green plantings on selected objects in the Zakarpattia region was carried out. The technology of obtaining data on green plantings has been improved, without using classical topographic-geodetic methods, using terrestrial laser scanning and partially GNSS measurements. As a result, a table of green planting data has been created for the territory of the studied objects using automated methods, including information about their location in the adopted coordinate system and the diameter of the trunk at a height of 1.3 meters.

*Key words:* terrestrial laser scanning; automated methods; tree trunk; diameter; digital surface models; inventory of green plantings.

Надійшла 06.09.2023 р.