

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Кваліфікаційна наукова праця
на правах рукопису

МАКАРЕВИЧ АНАТОЛІЙ МИКОЛАЙОВИЧ

УДК 502.1:630*5

ДИСЕРТАЦІЯ

ОСОБЛИВОСТІ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТАКСАЦІЇ ДЕРЕВ
УРБОСЕРЕДОВИЩА ТА ОЦІНЮВАННЯ ЇХНІХ
ЕКОСИСТЕМНИХ ПОСЛУГ

205 Лісове господарство

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

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

Науковий керівник
Білоус Андрій Михайлович,
доктор сільськогосподарських наук,
професор

Київ – 2024

АНОТАЦІЯ

Макаревич А.М. Особливості вимірювальної таксації дерев урбосередовища та оцінювання їхніх екосистемних послуг. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії зі спеціальності 205 – «Лісове господарство». Національний університет біоресурсів і природокористування України. Київ. 2024.

Дисертаційна робота присвячена розробленню прикладних рішень для інвентаризації дерев урбосередовища, удосконаленню методичних засад таксації дерев та оцінюванню їхніх екосистемних послуг.

Методичну основу наземних вимірювань сформовано на принципах обліку дерев зелених насаджень із використанням класичних та методів наближеної таксації ростучих дерев, методик вимірювання приросту деревини стовбурів, оцінювання показників екосистемних послуг, а саме депонування вуглецю, накопичення фітомаси, продукування кисню й акумулювання енергії.

Вплив стрімких глобальних процесів урбанізації поступово зумовлює зменшення площі навколишніх лісових масивів навколо міст. В умовах урбанізованого середовища деревні насадження набувають все більшого значення для забезпечення якості життя міського населення. Цінність об'єктів урболісівництва здебільшого розглядається лише як сукупність затрачених ресурсів на створення і догляд за насадженнями, однак значення біофізичних показників та вартісна оцінка корисностей, продукованих деревами урбосередовища, створить умови для фокусування уваги суспільства на цінності об'єктів урболісівництва для урбоекосистем. Це у свою чергу дасть змогу обґрунтувати необхідність проведення заходів ефективного управління міським середовищем, що є невід'ємною складовою сталого розвитку та створення природо-орієнтованих рішень у містах. Зрозуміло, що не всі екосистемні послуги дерев можливо точно оцінити за допомогою біофізичних чи вартісних одиниць, зокрема нематеріальні, проте

навіть наявні методики оцінювання можуть забезпечити висвітлення та інтерпретацію в грошовому еквіваленті частки цінності дерев урбосередовища.

У дисертації обговорено сучасні тенденції розвитку методичних рішень для таксації дерев урбосередовища. Описано проблеми інвентаризації насаджень урбосередовища в Україні в контексті розвитку природо-орієнтованих рішень та оцінювання екосистемних послуг. Розглянуто сучасні методи проведення досліджень дерев в умовах урбанізованого середовища. Сфокусовано увагу на необхідності удосконалення затвердженої методики інвентаризації дерев урбосередовища.

Під час виконання завдань дисертаційного дослідження щодо оцінювання стану дерев урбосередовища території НУБіП України було застосовано загальноприйняті і стандартизовані методики для інвентаризації зелених насаджень у поєднанні з рішеннями, запропонованими в дослідженні. Польові дослідження виконано на восьми дослідних ділянках, що включали в себе території кампуса НУБіП України загальною площею 38,2 га. За видовим складом об'єкт дослідження сформовано з 111 деревних видів, загальною кількістю 4236 дерев. Оцінювання біофізичних показників екосистемних послуг дерев здійснено за допомогою класичних формул таксації, методичних засад наближеної таксації, методики i-Tree есо, використання лісотаксаційних довідників, зокрема нормативів оцінки компонентів надземної фітомаси дерев головних лісотвірних видів України.

У результаті досліджень розроблено спосіб, що дозволяє проводити таксацію середнього діаметра стовбура дерев, які мають більше трьох стовбурів в умовах лісового чи урбанізованого середовища, на основі обміру окомірно визначеного найбільшого, наближеного до середнього та найменшого стовбурів при незначному значенні похибки, що не перевищує 5% рівня, та суттєвому зменшенні витрат часу на таксацію одного дерева від 25%.

Експериментальним шляхом доведено можливість застосування як механічних, так і електронних тригонометричних висотомірів (використовує властивості тангенса прямокутного трикутника) для потреб визначення висоти дерев у міських умовах. Достовірність визначення показника висоти дерева не перевищує рівня 5% похибки. Однак висотоміри, які працюють за принципом властивостей синуса прямокутного трикутника, в умовах урбанізованого середовища показали значне заниження висоти дерев, що не може забезпечити необхідну точність. Відносно недорогий та простий у використанні висотомір Suunto PM-5 є ефективною альтернативою дороговартісним лазерними висотомірам-далекомірам.

Доведено недостатнє методичне забезпечення для розрахунку балансу площі об'єктів урболісівництва, зокрема деревних рослин, що призводить до неузгодженості результатів визначення загальної площі. У результаті досліджень обґрунтовано доцільність використання площі поперечного перерізу стовбура дерева на рівні ґрунту, як площу дерева. Розроблено довідникові таблиці переходу від діаметра стовбура на висоті 1,3 м до діаметра на рівні ґрунту.

Виявлено особливості розподілу дерев урбосередовища території НУБіП України зі значним переважанням листяних видів (76%). Так, стосовно деревних видів найбільша частка у насадженнях припадає на дерева родів Туя, Клен та Липа. За віковою структурою 49% від загальної кількості становлять дерева групи віку «16-50 років». У насадженнях університетського кампусу за якісним станом переважають дерева класу якості «добрий».

За оцінюванням фітомаси дерев урбосередовища території НУБіП України загальний обсяг досягає 2,8 тис. т. Понад 90% фітомаси дерев території НУБіП України це фітомаса листяних деревних видів. У структурі загальної фітомаси дерев переважає фітомаса крони, відносна величина якої з віком починає зростати порівняно з фітомасою стовбура дерева.

Загальний показник депонованого вуглецю знаходиться на позначці 1,4 Тг С при середній щільності 36,4 Мг·га⁻¹. Значення накопиченої енергії становить 49,3 ТДж, за середньої щільності 1,3 ТДж·га⁻¹. Показник загального продукованого кисню визначено в обсязі 3,9 тис. т. Залежно від дослідних ділянок щільність депонованого вуглецю коливається від 24 до 53 Мг·га⁻¹, поточна продуктивність – від 0,05 до 1,52 т·га⁻¹. Накопичена енергія має щільність 0,9 – 1,9 ТДж·га⁻¹, з поточним накопиченням у межах від 0,9 до 27,2 ГДж·га⁻¹. Киснепродуктивність обмежена значеннями 0,1 і 2,1 т·га⁻¹, тоді як щільність загального продукованого кисню знаходиться в діапазоні 69–150 т·га⁻¹. Найвищі показники поточної продуктивності екосистемних послуг показують дерева родів Дуб, Гірकोкаштан, Клен, Липа та Тополя. Сумарно вони забезпечують понад 66% від поточної продуктивності екосистемних послуг.

У результаті оцінювання показників екосистемних послуг дерев у грошовому еквіваленті отримано значення вартісної оцінки для загального показника депонованого вуглецю та накопиченої енергії, що становить 7,6 млн грн і 12,4 млн грн відповідно. Розрахунок вартості продукованого кисню не проводився через відсутність даних про вартісний базис для оцінювання. Загальна вартість досліджуваних екосистемних послуг може досягати 20,0 млн грн, вартість їхнього щорічного приросту – 275 тис. грн (станом на 01.01.2022 р.).

За результатами комплексної оцінки дослідного полігона площею 4,36 га з допомогою інструментарію i-Tree есо отримано значення загальної відновної вартості 479 одиниць деревної рослинності в розмірі 15,8 млн грн. Вона складається з оцінок накопиченого вуглецю обсягом 166,4 т (919 тис. грн), поточного депонування вуглецю – 4,442 Мг·рік⁻¹ (24,5 тис. грн·рік⁻¹), киснепродуктивності – 11,84 т·рік⁻¹, економії енергії на опалення та кондиціювання будівель – 26,8 тис грн·рік⁻¹ та, як наслідок, зменшення викидів вуглецю на 2,29 т·рік⁻¹ (12,7 тис. грн·рік⁻¹).

Результати порівняння оцінювання накопиченого вуглецю інструментом i-Tree есо та за методикою наближеного оцінювання екосистемних послуг засвідчили узгодженість загальних оцінок, але виявлено значні відхилення результатів окремих видів із завищеною оцінкою за i-Tree есо.

Ключові слова: висота дерева, середній діаметр, багатостовбурні дерева, баланс площі, діаметр стовбура, депонування вуглецю, киснепродуктивність, накопичення енергії, фітомаса, поточний приріст.

ABSTRACT

Makarevych A. M. Features of measuring trees in urban environment and assessment of their ecosystem services. – Qualification scientific work in the form of a manuscript.

Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy in the specialty 205 “Forestry”. National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine. Kyiv. 2024.

The dissertation is devoted to the development of applied solutions for the inventory of the urban environment, improvement of the methodological principles of trees’ mensuration and assessment of their ecosystem services.

The methodology for *in situ* measurements is based on the principles of green space accounting using classical and approximate mensuration methods for live trees, methods for measuring trunk wood growth, and assessing indicators of tree ecosystem services, namely carbon sequestration, live biomass growth, oxygen production, and energy storage.

The impact of rapid global urbanization processes is gradually reducing the area of surrounding forests around cities. In an urbanized environment, green spaces are becoming increasingly important for ensuring the quality of life of the urban population. The value of urban forestry facilities is mostly considered only as a set of resources spent on their creation and maintenance, but the value of biophysical parameters and the cost assessment of the benefits produced by green spaces will create conditions for focusing public attention on the value of green facilities for urban ecosystems. This, in turn, will make it possible to justify the need for effective urban environmental management, which is an integral part of sustainable development and the creation of nature-based solutions in cities. Importantly, not all ecosystem services can be accurately assessed using biophysical or monetary units, including intangible ones, but even existing assessment methodologies can provide coverage and interpretation in monetary terms of the share of value of trees in the urban environment.

The thesis discusses current trends in the development of methodological solutions for the inventory of trees of green spaces. The problems of inventorying green spaces in Ukraine in the context of the development of nature-based solutions and the assessment of ecosystem services are described. Modern methods of tree research in the urbanized environment are considered. The focus is on the need to improve the approved methodology for inventorying green spaces.

During the implementation of the tasks of the dissertation research on assessing the condition of trees in the urban environment of the territory of NULES of Ukraine, generally accepted and standardized methods for inventorying green spaces were applied in combination with the solutions proposed in the study. The field research was carried out on the territory of eight research plots, which included the territory of the NULES campus with a total area of 38.2 hectares. In terms of species composition, the research object was formed of 111 tree species, with a total number of 4236 trees. The biophysical parameters of ecosystem services were assessed using classical forest mensuration formulas, methodological principles of *in situ* mensuration, i-Tree eco methodology, forest mensuration guidelines, in particular, standards for assessing the components of aboveground live biomass of trees of the main forest-forming species of Ukraine.

As a result of the research, a method was developed that allows for the assessment of the average trunk diameter of trees with more than three trunks in a forest or urbanized environment, based on the measurement of the largest, close to the average and the smallest trunks determined by eye, with a small error value not exceeding 5% of the level and a significant reduction in the time spent on the assessment of one tree by 25%.

The possibility of using both mechanical and electronic trigonometric altimeters (using the properties of the tangent of a right triangle) for the needs of measuring the tree height in urban areas has been experimentally proven. The reliability of measuring tree height does not exceed the level of 5% error. However, altimeters that work on the principle of the sine of a right triangle have shown a significant underestimation of tree height in urban environments, which

cannot provide the required accuracy. The relatively inexpensive and easy-to-use Suunto PM-5 altimeter is an effective alternative to expensive laser rangefinders.

Insufficient methodological support for calculating the balance of the area of green spaces, in particular trees, has been identified, which leads to inconsistencies in the results of determining the total area. As a result of the research, the expediency of using the cross-sectional area of the tree trunk at the soil level as the area occupied by the tree is substantiated. Reference tables for the transition from the trunk diameter at a height of 1.3 to the diameter at the soil level were developed.

The peculiarities of the distribution of trees in the green spaces of NUBiP of Ukraine with a significant predominance of deciduous species (76%) were revealed. In terms of tree species, the largest share in green spaces is covered by trees of the genera Thuja, Maple and Linden. According to the age structure, 49% of the total number are trees of the age group "16-50 years". In terms of quality, the university campus green spaces are dominated by trees of the "good" quality class.

As a result of the assessment of the live biomass of trees in the urban environment of the NUBiP of Ukraine, the total volume is 2,900 t. More than 90% of the live biomass of trees on the territory of NUBiP of Ukraine is covered by deciduous tree species. The structure of the total live biomass is dominated by the live biomass of the trunk, the relative value of which begins to decline with age compared to the live biomass of the tree crown.

The total index of sequestered carbon is at the level of 1.4 Tg C with an average density of 36.4 Mg·ha⁻¹. The value of stored energy is 49.3 TJ, and the average density is 1.3 TJ·ha⁻¹. The total oxygen produced is 3,900 t. In the context of research plots, the density of sequestered carbon ranges from 24 to 53 Mg·ha⁻¹, and the current productivity ranges from 0.05 to 1.52 t·ha⁻¹. The accumulated energy has a density of 0.9-1.9 TJ·ha⁻¹ with current accumulation ranging from 0.9 to 27.2 GJ·ha⁻¹. The oxygen productivity is limited to 0.1 and 2.1 t·ha⁻¹, and the density of produced oxygen is in the range of 69-160 t·ha⁻¹. The highest indicators

of current productivity of ecosystem services are shown by trees of the genera Oak, Bitter Chestnut, Maple, Linden, and Poplar. In total, they provide more than 66% of the current productivity of ecosystem services.

As a result of assessing the indicators of ecosystem services of trees in monetary terms, the value of the total sequestered carbon and accumulated energy was obtained, which amounted to UAH 8.1 million and UAH 13.1 million, respectively. The value of the produced oxygen was not calculated due to its insignificant environmental impact. The total value of the studied ecosystem services may amount to UAH 21.2 million, and the value of their annual increase may be UAH 275 thousand (as of January 01, 2022).

Based on the results of a comprehensive assessment of the 4.36 ha test site using the i-Tree eco tool, the total replacement value of 479 units of woody vegetation was obtained in the amount of UAH 15.8 million. It consists of estimates of accumulated carbon in the amount of 166.4 tons (UAH 919 thousand), current carbon sequestration – $4.442 \text{ Mg}\cdot\text{year}^{-1}$ (24.5 thousand UAH $\cdot\text{year}^{-1}$), oxygen productivity – $11.84 \text{ t}\cdot\text{year}^{-1}$, energy savings for heating and air conditioning of buildings – 26.8 thousand UAH $\cdot\text{year}^{-1}$ and, as a result, a reduction in carbon emissions of $2.29 \text{ t}\cdot\text{year}^{-1}$ (12.7 thousand UAH $\cdot\text{year}^{-1}$).

The results of comparing the methods of estimating the accumulated carbon using the i-Tree eco tool and the method of approximate ecosystem service assessment showed the consistency of the overall estimates, but significant deviations in the results of individual species with an overestimation by i-Tree eco were found.

Keywords: tree height, mean diameter, multi-stemmed trees, area balance, trunk diameter, carbon sequestration, oxygen productivity, energy storage, live biomass, current increment.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у наукових фахових виданнях України:

1. **Макаревич А. М.**, Білоус А. М. Точність вимірювання висоти дерев різними висотомірами у міському середовищі. Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України. 2024. Вип. 34 (1). С. 36–41. *(Макаревичем А. М. проведено літературний науковий пошук, порівняльний аналіз наявних досліджень, які наближені до опублікованих авторами та визначено відповідні узгодження і відмінності, проаналізовано, систематизовано результати дослідження, проведено збір, аналіз та статистичну обробку дослідних даних, підготовлено публікацію до друку відповідно до вимог видання. Білоусом А. М. визначено актуальність, сформульовано наукову новизну, практичне значення та мету проведених досліджень, висновки).*

Статті у наукових виданнях інших держав, що індексуються у базі даних Scopus

2. Bilous A., Zadorozhniuk R., **Makarevych A.**, Svynchuk V., Lashko A., Bilous M., Myroniuk V., Matsala M. Sampling Protocol for Measuring Mean Diameter at Breast Height of Forked Urban Trees. Forests. 2024. Vol. 15. 458. URL: <https://www.mdpi.com/1999-4907/15/3/458>. *(Makarevych A. проведено літературний науковий пошук, збір, аналіз та статистичну обробку дослідних даних і отриманих результатів, сформульовано відповідні висновки. Bilous A. визначено актуальність, сформульовано наукову новизну, практичне значення та мету проведених досліджень, відповідні висновки, здійснено загальне управління в ході проведення дослідження, знаходження джерел фінансування. Zadorozhniuk R. проведено літературний науковий пошук, порівняльний аналіз наявних досліджень, які наближені до опублікованих авторами та визначено відповідні узгодження і відмінності, статистичний аналіз дослідних даних, підготовлено первинний варіант тексту. Svynchuk V. проведено статистичну обробку дослідних даних та аналіз отриманих результатів. Lashko A. проведено збір дослідних даних.*

Bilous M. проведено літературний науковий пошук, збір дослідних даних. Myroniuk V. визначено актуальність, сформульовано наукову новизну, практичне значення та мету проведених досліджень, проведено аналіз та статистичну обробку отриманих результатів, знаходження джерел фінансування. Matsala M. проведено літературний науковий пошук, підготовлено публікацію до друку відповідно до вимог видання, знаходження джерел фінансування).

Патенти України на корисні моделі

3. Білоус А. М., Миронюк В. В., Леснік О. М., **Макаревич А. М.** Спосіб таксації надземної фітомаси дерев, що ростуть в умовах урбанізованого середовища: патент на корисну модель № 153596 Україна, МПК G01C 3/20 (2006.01); заявлено 15.11.2022; опубліковано 26.07.2023. Бюл. № 30. *(Макаревичем А. М. проведено літературний науковий пошук, збір, аналіз та обробку дослідних даних і отриманих результатів та написання частини заявки на патент. Білоусом А. М. визначено актуальність, сформульовано наукову новизну, практичне значення та мету проведених досліджень, висновки. Миронюком В. В. виконано аналіз та обробку дослідних даних і отриманих результатів. Лесніком О. М. проведено збір дослідних даних та написання тексту заявки на патент.)*

Тези наукових доповідей:

4. Білоус А. М., **Макаревич А. М.** Методика оцінювання екосистемних послуг дерев у міському середовищі. Теперішнє та майбутнє лісів екотону середніх широт: Міжнародна науково-практична конференція, м. Київ, 10–12 червня 2021 року: тези доповіді. Київ, 2021. С. 28. *(Макаревичем А. М. проведено літературний науковий пошук. Білоусом А. М. визначено актуальність, сформульовано наукову новизну, практичне значення та мету проведених досліджень, відповідні висновки).*

5. Макаревич А. М. Проблеми інвентаризації зелених насаджень забудованої частини міста. Екосистемні послуги лісів та урболандшафтів:

Міжнародна науково-практична конференція, м. Київ, 18 листопада 2021 року: тези доповіді. Київ, 2021. С. 66.

6. Макаревич А. М. Інвентаризація зелених насаджень в Україні: недоліки та передумови вирішення. Ліси в умовах сучасних викликів: Міжнародна науково-практична конференція молодих учених, аспірантів і здобувачів, м. Харків, 20 жовтня 2022 року: тези доповіді. Харків, 2022. С. 85.

7. Макаревич А. М. Особливості видового складу зелених насаджень НУБіП України. Ліси та урбоєкосистеми України в умовах війни: стан, збереження та відновлення: Міжнародна науково-практична конференція, м. Київ, 18 листопада 2022 року: тези доповіді. Київ, 2022. С. 57.

8. Макаревич А. М. Сучасний стан озеленених територій НУБіП України. Екологічний дизайн міського середовища: проблеми, здобутки та перспективи: V Міжнародна науково-практична конференція, м. Київ, 23 березня 2023 року: тези доповіді. Київ, 2023. С. 40.

9. Макаревич А. М. Вікова структура зелених насаджень НУБіП України. Актуальні проблеми дослідження лісових та урбоєкосистем України в умовах воєнного стану: Міжнародна науково-практична конференція, м. Київ, 23 листопада 2023 року: тези доповіді. Київ, 2023. С. 58.

10. Білоус А. М., **Макаревич А. М.**, Задорожнюк Р. М., Свинчук В. А., Миронюк В. В., Мацала М. С. Особливості визначення середнього діаметра багатостовбурних дерев. Лісівнича освіта і наука: стан, проблеми та перспективи розвитку: VI Міжнародна науково-практична конференція, м. Малин, 21 березня 2024 року: тези доповіді. Малин, 2024. С. 32–36. *(Макаревичем А. М. проведено літературний науковий пошук, збір, аналіз та статистичну обробку дослідних даних і отриманих результатів, сформульовано відповідні висновки. Білоусом А. М. визначено актуальність, сформульовано наукову новизну, практичне значення та мету проведених досліджень, відповідні висновки. Задорожнюком Р. М. проведено літературний науковий пошук, порівняльний аналіз наявних досліджень, які*

наближені до опублікованих авторами та визначено відповідні узгодження і відмінності, статистичний аналіз дослідних даних, підготовлено первинний варіант тексту. Свинчуком В. А. проведено статистичну обробку дослідних даних та аналіз отриманих результатів, підготовлено публікацію до друку відповідно до вимог видання. Миронюком В. В. визначено актуальність, сформульовано наукову новизну, практичне значення та мету проведених досліджень, проведено аналіз та статистичну обробку отриманих результатів. Мацалою М. С. проведено літературний науковий пошук).

11. Білоус А. М., **Макаревич А. М.** Екосистемні послуги зелених насаджень НУБіП України. Наближене до природи лісівництво: проблеми та перспективи: Міжнародна науково-практична конференція, м. Київ, 25–26 квітня 2024 року: тези доповіді. Київ, 2024. С. 23. *(Макаревичем А. М. проведено літературний науковий пошук, збір, аналіз та обробку дослідних даних і отриманих результатів. Білоусом А. М. визначено актуальність, сформульовано наукову новизну, практичне значення та мету проведених досліджень, висновки).*

ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ.....	2
ABSTRACT.....	7
СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ	11
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	18
ВСТУП	19
РОЗДІЛ 1 РОЗВИТОК ЗЕЛЕНОГО ГОДАРСТВА В УМОВАХ СТРІМКОЇ УРБАНІЗАЦІЇ ТА ЕКОЛОГІЧНИХ ВИКЛИКІВ	25
1.1. Основні тенденції розвитку зеленого господарства.....	25
1.2. Методи інвентаризації насаджень урбосередовища та особливості їх практичного застосування	31
1.3. Екосистемні послуги об’єктів урболісівництва як фактор впливу на якість життя населення у містах	40
Висновки до розділу 1	44
РОЗДІЛ 2 МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ХАРАКТЕРИСТИКА ДОСЛІДНИХ ДАНИХ.....	46
2.1. Методика дослідної інвентаризації об’єктів урболісівництва	46
2.2. Методика оцінки точності визначення середнього діаметра багатостовбурних дерев.....	48
2.3. Методичні засади оцінювання екосистемних послуг дерев урбосередовища.....	50
2.3.1 Методика наближеного оцінювання екосистемних послуг дерев.....	50
2.3.2. Методика оцінювання екосистемних послуг i-Tree есо	52
2.4. Характеристика дослідних даних.....	54
2.4.1. Характеристика дослідних ділянок.....	54

2.4.2. Аналіз дослідних даних таксації багатостовбурних дерев ...	64
2.4.3. Порівняння точності висотомірів	65
2.4.4. Визначення балансу площ об'єкта урболісівництва	67
2.4.5. Характеристика дерев для оцінювання екосистемних послуг за допомогою інструменту i-Tree есо	68
Висновки до розділу 2	69
РОЗДІЛ 3 ПРИКЛАДНІ РІШЕННЯ ДЛЯ ІНВЕНТАРИЗАЦІЇ ДЕРЕВ УРБОСЕРЕДОВИЩА	71
3.1. Визначення діаметра дерева.....	71
3.2. Визначення висоти дерева.....	79
3.3. Баланс площі окремих частин об'єкта інвентаризації	84
Висновки до розділу 3	94
РОЗДІЛ 4 ЕКОСИСТЕМНІ ПОСЛУГИ ДЕРЕВ УРБОСЕРЕДОВИЩА	96
4.1. Екосистемні послуги дерев урбосередовища території НУБіП України	96
4.1.1. Фітомаса дерев урбосередовища	97
4.1.2. Біорізноманіття деревної рослинності.....	101
4.1.3. Депонування вуглецю.....	103
4.1.4. Продукування кисню	106
4.1.5. Накопичення енергії	108
4.2. Приріст екосистемних послуг.....	111
4.3. Вартісна оцінка екосистемних послуг	114
4.4. Оцінювання екосистемних послуг за використання інструментарію i-Tree есо.....	119

4.5. Порівняння оцінок накопиченого вуглецю за методом наближеного оцінювання екосистемних послуг та за допомогою інструменту i-Tree есо.....	121
Висновки до розділу 4	125
ВИСНОВКИ.....	128
ПРОПОЗИЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ	131
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	132
ДОДАТКИ.....	152

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

НУБіП України – Національний університет біоресурсів і природокористування України;

ЕП – екосистемні послуги;

МТО – міський тепловий острів;

ДУ – дерева урбосередовища.

ВСТУП

Глобалізація та зростаючі темпи урбанізації зумовлюють погіршення екологічної ситуації в урбанізованому середовищі. Міське середовище виступає основним джерелом екологічних викликів, таких як забруднення повітря, води та ґрунту, зменшення біорізноманіття шляхом перетворення природних екосистем в урболандшафт (*Рамкова конвенція Організації Об'єднаних Націй про зміну клімату, 1996*). Темпи урбанізації актуалізують важливість збереження зелених зон для екологічної рівноваги. Дерев у містах мають важливе значення для якості життя міського населення, забезпечуючи низку корисностей, що складаються в загальний позитивний вплив на здоров'я та благополуччя населення міста.

В умовах стрімкої урбанізації важливою складовою є ефективне управління насадженнями (Blackwell et al., 2014). За приклад такого можуть слугувати стратегії міського лісівництва, що базуються на екологічних пріоритетах (Nowak et al., 2018). В своїй основі вони повинні спиратися на точну та актуальну інформацію щодо стану дерев та інших компонентів об'єктів урболісівництва. Вирішити завдання їх обліку покликана інвентаризація зелених насаджень та оцінювання їхніх екосистемних послуг.

Розроблення нових методів і підходів до оцінювання параметрів екосистем, поява й застосування сучасного інструментального забезпечення таксаційних робіт на фоні застарілої нормативно-правової бази вимагає удосконалення наявних методик інвентаризації об'єктів урболісівництва (Бідолах, 2020). Інтеграція оцінювання екосистемних послуг дерев у процес встановлення балансової вартості об'єктів урболісівництва допоможе усвідомити цінність їхнього позитивного впливу як інструменту для сталого розвитку міст (*Цілі сталого розвитку, 2024*) та забезпечення здорового і комфортного середовища для міських жителів.

Мета та завдання дослідження. Мета дисертаційного дослідження – удосконалення методичних засад виміральної таксації дерев урбосередовища та встановлення особливостей продукування їхніх

екосистемних послуг (на прикладі дерев урбосередовища території НУБіП України).

Для досягнення поставленої мети сформульовано такі завдання:

- визначити основні тенденції та проблеми розвитку урболісівництва в умовах зростання інтенсивності процесів урбанізації;
- здійснити аналіз стану дерев урбосередовища на території об'єкта дослідження;
- опрацювати методичні засади оцінювання екосистемних послуг дерев;
- розробити та обґрунтувати спосіб таксації багатостовбурних дерев;
- провести апробацію та оцінку точності вимірювання висоти дерев сучасним таксаційним обладнанням;
- обґрунтувати методика узгодження балансу площі окремих компонентів об'єкта урболісівництва;
- здійснити оцінювання загальної фітомаси дерев урбосередовища за основними її компонентами;
- встановити закономірності видової структури деревної рослинності території НУБіП України;
- оцінити екосистемні послуги дерев урбосередовища за методом наближеного оцінювання екосистемних послуг дерев;
- оцінити екосистемні послуги дерев урбосередовища за інструментом i-Tree есо;
- виконати порівняння результатів оцінки екосистемних послуг дерев різними методами;
- підготувати пропозиції для удосконалення методики інвентаризації об'єктів урболісівництва.

Об'єкт дослідження – вимірювальна таксація дерев урбосередовища та продуктивність їхніх екосистемних послуг.

Предмет дослідження – методичні засади вимірювальної таксації дерев урбосередовища та оцінювання їхніх екосистемних послуг дерев (на прикладі території кампуса НУБіП України).

Методи дослідження. Теоретичні та експериментальні дослідження проводили з використанням чотирьох рівнів методології наукового пізнання: всезагального, загальнонаукового, конкретно-наукового та техніки досліджень у лісовій таксації. У дослідженні застосовано такі загальні методи, як вимірювання, дослід, спостереження, систематизації тощо. У процесі дослідження дерев урбосередовища використовувалися також методи маршрутних обстежень, візуальної, порівняльної та інструментальної оцінки параметрів дерев урбосередовища, метод наближеної таксації (за методом проф. К. Є. Нікітіна). Збір дослідних матеріалів виконували за методами суцільної перелікової таксації. Проведено вимірювання діаметра дерев із застосуванням мірної вилки *Haglöf Mantax blue 800 мм* (у випадках вимірювання діаметра більше 80 см вимірювався обхват стовбура мірною стрічкою *Vectron 24-2-030 30 м×10 мм* із подальшим перерахунком у значення діаметра) на висоті 1,3 м із точністю до 0,1 см, висоту дерев – електронним лазерним висотоміром-далекоміром *TruPulse 360B*. Облік дерев здійснювався за видовою структурою шляхом вимірювання та обстеження в природі. Кількісні показники запасу вуглецю стовбура, вуглецю в наземній та загальній фітомасі визначали за допомогою формул об'єму деревини, матеріалів Лісотаксаційного довідника та нормативів оцінки компонентів надземної фітомаси дерев головних лісотвірних видів України (Лакида et al. 2011; Zianis et al. 2005; Білоус et al. 2020; 2021).

Для порівняння точності вимірювання висоти дерев сучасним таксаційним обладнанням було зібрано дані про висоту дерев висотомірами *Suunto PM 5*, *Блюме-Лейса*, *Haglöf EC II-D* та *TruPulse 360B* із використанням п'яти підходів до вимірювання.

Оцінювання екосистемних послуг дерев здійснювали за методикою наближеного оцінювання екосистемних послуг дерев (Білоус, 2020).

Екосистемні послуги дерев частини дослідного полігона, обмежену територією навчальних корпусів №1, №2, №3 та скверу «Ювілейний», оцінено за допомогою інструменту i-Tree есо.

Наукова новизна одержаних результатів. У дисертації досліджено нові методичні рішення для обліку об'єктів урболісівництва та оцінено екосистемні послуги дерев урбосередовища за комплексного використання методів класичної та наближеної таксації і нормативно-довідкового забезпечення. Основні результати досліджень містять елементи наукової новизни, які полягають у такому:

Вперше:

- створено спосіб вимірювання середнього діаметра багатостовбурних дерев;
- запропоновано прикладне рішення для усунення неузгодженості визначення балансу площі об'єкта урболісівництва;
- оцінено і порівняно вартісні показники екосистемних послуг дерев урбосередовища методом наближеної оцінки екосистемних послуг та за допомогою інструменту i-Tree есо.

Удосконалено:

- методичні засади оцінювання біофізичних показників екосистемних послуг дерев урбосередовища за використання методу наближеної оцінки екосистемних послуг;
- методичні рішення для таксації висоти дерев урбосередовища.

Доповнено:

- відомості про видову та вікову структуру насаджень урбосередовища НУБіП України;
- досвід використання i-Tree есо в умовах урбосередовища у східній Європі.

Практичне значення одержаних результатів полягає в удосконаленні та уточненні методик обліку та оцінки таксаційних показників дерев. Оцінювання екосистемних послуг дерев урбосередовища відкриває

можливості для глибшого розуміння особливостей управління з метою досягнення цілей сталого розвитку. Одержані результати можуть бути використані для практичного застосування під час проведення інвентаризації дерев об'єктів урболісівництва.

Особистий внесок здобувача. Здобувачем самостійно отримано основні результати досліджень та виконано експериментальне обґрунтування прикладних рішень таксації дерев урбосередовища, проведено аналіз попередніх досліджень та аналіз методів, що застосовуються для інвентаризації зелених насаджень. Проведено апробацію методики наближеної оцінки екосистемних послуг дерев в умовах урбанізованого середовища. Збір експериментальних даних проведено особисто здобувачем та за співпраці із співробітниками навчально-наукового інституту лісового і садово-паркового господарства НУБіП України під час проведення обстежень насаджень урбосередовища НУБіП України. Висновки та пропозиції, висвітлені у дисертації, базуються на результатах проведених досліджень. У спільних публікаціях права співавторів не порушено.

Апробація матеріалів дисертації. Основні теоретичні положення дисертації обговорено на: Міжнародній науково-практичній конференції «Ліси та урбо-екосистеми України в умовах війни: стан, збереження та відновлення» (м. Київ, 2022 р.); V Міжнародній науково-практичній конференції «Екологічний дизайн міського середовища: проблеми, здобутки та перспективи» (м. Київ, 2023 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Актуальні проблеми дослідження лісових та урбоекосистем України в умовах воєнного стану» (м. Київ, 2023 р.); VI Міжнародній науково-практичній конференції «Лісівнича освіта і наука: стан, проблеми та перспективи розвитку» (м. Малин, 2024 р.).

Структура та обсяг дисертаційної роботи.

Дисертація викладена на 177 сторінках комп'ютерного тексту, обсяг основного тексту – 113 сторінках. Робота складається з анотацій українською та англійською мовами, вступу, чотирьох розділів, що містять 33 таблиці,

18 рисунків, висновки, рекомендації виробництву, список використаних джерел, що містить 141 найменування (88 латиницею), додатки.

Автор висловлює щирю вдячність науковому керівнику Андрію Михайловичу Білоусу за наставництво та супровід наукової діяльності. Щира подяка співробітникам кафедри таксації лісу та лісового менеджменту, кафедри ландшафтної архітектури та фітодизайну, кафедри ботаніки, дендрології та лісової селекції, кафедри геодезії та картографії за консультаційну підтримку та корисні наукові поради під час підготовки роботи.

РОЗДІЛ 1

РОЗВИТОК ЗЕЛЕНОГО ГОДАРСТВА В УМОВАХ СТРИМКОЇ УРБАНІЗАЦІЇ ТА ЕКОЛОГІЧНИХ ВИКЛИКІВ

1.1. Основні тенденції розвитку зеленого господарства

Нині у світі відбуваються потужні трансформаційні процеси, зумовлені як природними явищами, так і суспільними змінами. Прямо чи опосередковано це впливає на країни, населення, екологію, якість життя людей. За такого розвитку подій спостерігається глобальна міграція людей у міста. Процес зростання ролі міст у розвитку суспільства, який супроводжується ростом і розвитком міських поселень, зростанням питомої ваги міського населення називається урбанізація (Лановенко & Остапішина, 2018). Вона є одним із головних світових трендів у XXI ст., що сприяє глобалізації, а також зумовлює демографічні зміни (Сергієнко, 2022). У 1800 р. в містах проживало близько 14 % населення світу, у 1950 р. — 29 %, а в 1990 р. — 46 %. За останні роки у світі спостерігається приріст міського населення щороку приблизно на 50 млн осіб (Nations, 2018).

Разом із приростом кількості міських жителів відбувається збільшення площі самих міст, що у свою чергу зменшує кількість лісів навколо міста. Місто починає поглинати та перетворювати лісові екосистеми в урболандшафт (Deng et al., 2009). Досить детально вплив урбанізації на екосистеми та біорізноманіття досліджував Майкл Л. Маккінні (McKinney, 2008).

Зростаючі темпи урбанізації змінюють вигляд сучасних міст. У теперішніх умовах інтенсивної щільної забудови, роботи транспорту і промисловості відбувається постійне забруднення навколишнього середовища, що створює малоприятливі умови для життєдіяльності мешканців міста (Бідолах, 2020). Окрім цього, урбанізація негативно впливає на міські екосистеми та якість навколишнього середовища (Tan et al., 2021).

Для комфортного проживання людей у містах необхідно мінімізувати шкідливий вплив урбанізованого середовища. Виконати це завдання покликані об'єкти урболісівництва. До них відносять деревну, чагарникову, квіткову та трав'яну рослинність природного і штучного походження на визначеній території населеного пункту (*Правила утримання зелених насаджень у населених пунктах України, 2006*). Об'єкти урболісівництва відіграють важливу роль у поліпшенні життя міського населення. Рослинність зменшує несприятливий вплив кліматичних і антропогенних факторів на умови життя, роботи та відпочинку міських жителів. Значною мірою на мікроклімат у містах впливають ЕП, що надаються ДУ (Nowak et al., 2007): затримання пилу, шкідливих речовин, диму, депонування вуглецю, продукування кисню та зниження температури (Артамонов, 2013; Das et al., 2022). Також ще існує низка послуг, які не мають кількісного виразу, але їх важливість від цього не зменшується: протидія ерозії, рекреаційне та естетичне значення насаджень урбосередовища (Бідолах et al., 2023).

Кількість та якість ЕП, що надають ДУ, залежать від стану рослин (Edgar et al., 2021). Існує пряма залежність між фізіологічним станом (розмірними показниками стовбура і крони, чи здорова рослина, наявність відмерлих частин) та продукуванням ЕП. Зазвичай щодо здорових дорослих рослин спостерігають кращі показники (киснепродуктивність, затримання пилу та шуму, депонування вуглецю і т.д) порівняно з ослабленими (Nowak et al., 2022). Більше того, відмерлі дерева можуть завдати шкоди внаслідок падіння гілок, частини або цілого стовбура. Задля підтримання оптимальних якісних показників ДУ необхідно постійне управління. Якісне управління неможливе без достовірної оцінки стану об'єктів урболісівництва (Nowak et al., 2008). Саме з цією метою виконують інвентаризацію об'єктів урболісівництва. Інвентаризація зелених насаджень здійснюється з метою одержання достовірних даних щодо кількісних і якісних характеристик насаджень (Інструкція з інвентаризації зелених насаджень у населених пунктах України, 2001).

Якісне управління становить невід'ємну частину концепції сталого розвитку. Концепція сталого розвитку одна з найважливіших ідей та ідеологій існування суспільства сьогодення, яка визначається як «розвиток, який задовольняє потреби нинішнього покоління без шкоди для можливості майбутніх поколінь задовольняти свої власні потреби» (Butlin, 1989). З цією метою в низці країн світу розроблено й прийнято «стратегії урболісівництва», зокрема «Система урболісівництва у м. Нью-Йорк» (D. Nowak et al., 2018), «Стратегія урболісівництва м. Лондон» (Blackwell et al., 2014) та «Міська лісова стратегія м. Мельбурн» (*Urban Forest Strategy – City of Melbourne*, 2012).

Стратегія міських лісів – це план, який залучає громадян і окреслює необхідні кроки, які місто повинне здійснити для захисту, поліпшення та моніторингу міського лісу (Blackwell et al., 2014). Лондонська стратегія міських лісів розрахована на 20 років і повинна переглядатися кожні п'ять років для уточнення вектора розвитку міста залежно від обставин. Стратегія забезпечує бачення і стратегічний напрям довгострокової освіти, планування, висаджування, захисту та обслуговування дерев, лісових масивів, зелених просторів та пов'язаних з ними ресурсів. Також увага приділяється залученню громадськості до прийняття рішень щодо управління об'єктами урболісівництва. За основну мету цієї стратегії поставлено зростання важливості насаджень урбосередовища в Лондоні, що підвищить репутацію міста як такого, де люди бажають жити, працювати та відпочивати, а також створить середовище, стійке до змін (Blackwell et al., 2014).

У системі урболісівництва у м. Нью-Йорк увага акцентується на необхідності отримання достовірних даних про міські об'єкти урболісівництва для комплексного управління. Обґрунтовується наявністю різних програм озеленення та неузгодженістю між ними, що призводить до великої різноманітності використовуваних видів та фрагментарності ділянок за власністю. Все це, у свою чергу, не дозволяє ефективно проводити захист від постійної загрози шкідників, хвороб, інвазійних видів рослин, змін

клімату, розвитку інфраструктури, які негативно впливають на міські лісові ресурси (Nowak et al., 2018). Комплексна оцінка, запропонована в стратегії, спирається на оцінюванні структури насаджень урбосередовища та їхніх ЕП у грошовому виразі. Одним із запропонованих інструментів оцінювання є модель *i-Tree eco*, що являє собою програмне забезпечення, яке використовує таксаційні показники ДУ для кількісної оцінки структури об'єктів урболісівництва, впливу на навколишнє середовище та цінності для громад (*i-Tree Tools – Calculate the benefits of trees!*, 2006).

Міська лісова стратегія м. Мельбурн визначає три основні проблеми, з якими зіткнулося місто: кліматичні зміни, зростання населення та тепловий режим. Пом'якшити негативні наслідки зазначених проблем покликані насадження урбосередовища. Загальна увага сфокусована на важливості ЕП, що надаються ДУ, зокрема пом'якшення ефекту МТО. Головною ідеєю визнано управління об'єктами урболісівництва з метою створення комфортних умов для жителів і гостей міста (*Urban Forest Strategy – City of Melbourne*, 2012) та збереження й розвиток зеленої інфраструктури для наступних поколінь. У цілому всі стратегії мають спільний напрям розвитку урболісівництва згідно з концепцією сталого розвитку, проте зосереджуються на різних аспектах залежно від кліматичних умов та географічного розташування. Ще однією спільною рисою виділяється активне залучення різних зацікавлених осіб та громадськості до процесу інвентаризації та висвітлення публічних результатів.

На оцінюванні проєктів міського лісівництва за сукупністю критеріїв звернули увагу М. Гуаріні та група дослідників (Guarini et al., 2019), які створили багатокритеріальний протокол економічного аналізу, спрямований на прогнозування раціонального розподілу коштів між ініціативами реалізації щодо міських лісів у місцевому масштабі.

Попри загальну тенденцію зменшення лісистості планети (*Global Forest Resources Assessment 2020*), спостерігається збільшення площі міських насаджень приблизно від 10 млн га у 1990 році до близько 17 млн га (*The*

State of the World's Forests 2022, 2022) слідом за ростом площі міст. Проте вважають, що таких зрушень недостатньо, адже Всесвітня Організація Охорони Здоров'я (ВООЗ) визначила, що норма площі об'єктів зеленої інфраструктури міста повинна становити 50 м^2 на одного жителя (*Про зелені насадження міст та інших населених пунктів*, 2015). За даними (Півень & Колесніченко, 2022) практично в усіх великих містах світу не дотримано зазначеної норми озеленення. Зокрема в Парижі площа об'єктів урболісівництва коливається від 3 до $14 \text{ м}^2 \cdot \text{люд.}^{-1}$, у Варшаві вона становить від 6 до $26 \text{ м}^2 \cdot \text{люд.}^{-1}$ залежно від району міста, в Будапешті – $8 \text{ м}^2 \cdot \text{люд.}^{-1}$, у Празі – $18 \text{ м}^2 \cdot \text{люд.}^{-1}$, у Чикаго – $12 \text{ м}^2 \cdot \text{люд.}^{-1}$, у Берліні – менше $16 \text{ м}^2 \cdot \text{люд.}^{-1}$, у Відні – $17 \text{ м}^2 \cdot \text{люд.}^{-1}$. Найменші показники забезпеченості населення об'єктами урболісівництва характерні для півдня і сходу Європи, тоді як зростання спостерігається на північ і північний захід Європи (Півень & Колесніченко, 2022).

Згідно з чинним законодавством України (*ДБН Б.2.2-12*, 2019) у межах населеного пункту на території житлової та житлово-громадської (мікрорайон, житловий район) забудови рівень озеленення не повинен бути меншим за 25%. Діючі будівельні норми передбачають обов'язкове озеленення у розмірі 6-8 м^2 для житлових районів залежно від фізико-географічного районування території України.

В Україні за функціональним призначенням виділяють об'єкти урболісівництва загального користування, обмеженого користування та спеціального призначення (*Правила утримання зелених насаджень у населених пунктах України*, 2006). На сьогодні загальна площа об'єктів урболісівництва усіх видів у межах територій населених пунктів України досягає близько 425,5 тис. га («Аналіз стану сфери зеленого господарства за 2022 рік»), за чисельності населення 41130,4 тис. людей (*Державна служба статистики України*, 2022), що з розрахунку на одну людину складає $103,5 \text{ м}^2 \text{ м}^2 \cdot \text{люд.}^{-1}$. Площа об'єктів урболісівництва у 2021 році становила

понад 122,5 тис. га з розрахунку на людину. Стосовно областей ситуація дещо відрізняється (табл. 1.1).

Таблиця 1.1

**Забезпеченість населених пунктів об'єктами урболісівництва
загального користування**

*(Аналіз стану сфери зеленого господарства за 2022 рік, 2022; Державна
служба статистики України, 2022)*

Область	Площа об'єктів урболісівництва загального користування, тис. га	Кількість населення, тис. осіб	Забезпеченість об'єктів урболісівництва загального користування на одну людину, м ²
Вінницька	2,2	1507,7	14,3
Волинська	4,6	1020,8	45,5
Дніпропетровська	7,2	3093,2	23,2
Донецька	8,2	4056,4	20,1
Житомирська	5,3	1177,6	44,7
Закарпатська	1,4	1243,7	11,2
Запорізька	0,6	1636,3	3,8
Івано-Франківська	7,3	1350,6	54,0
Київська	6,3	1795,5	34,9
Кіровоградська	4,2	902,3	46,2
Луганська	-	2101,7	-
Львівська	5,7	2476,1	23,0
Миколаївська	3,6	1090,5	33,4
Одеська	4,9	2349,7	20,8
Полтавська	10,6	1350,6	78,5
Рівненська	1,1	1140,9	9,8
Сумська	4,8	1034,4	46,7
Тернопільська	1,7	1021,0	16,8
Харківська	6,5	2596,3	25,2
Хмельницька	2,4	1227,5	19,8
Черкаська	7,3	1159,2	63,2
Чернівецька	0,5	889,9	6,0
Чернігівська	19,5	957,7	203,3

Так більша площа з розрахунку на одного жителя населених пунктів об'єктів урболісівництва загального користування припадає на Чернігівську, Полтавську та Черкаську області, тоді як найнижчі показники зафіксовано у Запорізькій та Чернівецькій областях.

Майже в усіх містах України затверджено програми, що передбачають фінансування для розвитку зеленої інфраструктури. Зокрема програма розвитку зеленої зони міста Києва («Проект Програми розвитку зелених зон м. Києва», 2021), комплексна стратегія озеленення м. Львова (Ухвала №3629 від 27.06.2018, 2018), Міська цільова програма розвитку та збереження зелених насаджень м. Одеси на 2017-2020 рр. (Про затвердження Міської цільової програми розвитку та збереження зелених насаджень м. Одеси на 2017 - 2020 роки, 2020), міська програма заміни аварійних, сухостійних, уражених омелою дерев та дерев, які досягли вікової межі, на період 2015-2019 рр. м. Харків (Про затвердження Міської програми заміни аварійних, сухостійних, уражених омелою дерев та дерев, які досягли вікової межі, на період 2015-2019 рр., 2014).

Варто зауважити, що стосовно деяких міст питання стану урболісівництва розглядали окремі дослідники. Зокрема (Леснік і Гірс 2015) проаналізували забезпечення населення м. Києва: загальна площа насаджень усіх видів та лісопаркової частини зеленої зони у межах міста становить 54,4 тис. га, причому фактична забезпеченість населення м. Києва з міськими лісами знаходиться на рівні $188,4 \text{ м}^2 \cdot \text{люд.}^{-1}$, у межах міської забудови – $69,8 \text{ м}^2 \cdot \text{люд.}^{-1}$.

Дослідженням об'єктів урболісівництва малих міст Київщини переймалася О. Зібцева, яка апробувала підходи визначення екозбалансованості території міста, оцінила екозбалансованість та якісний стан і фіторізноманіття деревних насаджень малих міст Київської області. Особлива увага у роботі зосереджена на аналізі перспектив генерального планування малих міст відповідно до принципів сталого розвитку (Зібцева, 2020).

1.2. Методи інвентаризації насаджень урбосередовища та особливості їх практичного застосування

Інвентаризація насаджень урбосередовища являє собою комплекс біометричних розрахунків, знімально-геодезичних і ландшафтно-таксаційних

робіт, спрямованих на отримання детальної, узагальненої, кількісної та якісної інформації про об'єкти урболісівництва (Бідолах, 2020).

Над проблемою розвитку інвентаризації насаджень урбосередовища працювали ряд закордонних (Dudek T., Mohamed T. A., Holmgren J., Persson Å., Rocha S. M., Zulian G., Maes J., Thijssen M., Degerickx J., Hermy M., Somers B., Nielsen A., Ostberg J., Delshammar T., Takyi S. A., Seidel A. D., Ly T. P., Xiao H.) та українських (Бідолах Д. І., Каганяк Ю. Й., Гончаренко І. В., Ігнатенко О. П., Горошко М. П., Миклуш С. І., Король М. М., Вицега Р. Р., Прищепа А. М., Букша І. Ф., Хомюк П. Г., Миронюк В. В., Олексійченко Н. О., Сірук Ю. В., Підпалій І. Ф., Бовсуновський Є. О., Мельничук Н. Я. та Генік Я. В.) дослідників.

Колективом дослідників (Nielsen et al., 2014) виділено чотири групи методів інвентаризації для збору даних на рівні одного дерева:

- 1) методи, що використовують космічні зображення, отримані з сенсорів штучних супутників Землі (супутникова зйомка);
- 2) методи, що використовують дані сенсорів літальних апаратів (аерозйомка);
- 3) наземне сканування або цифрова фотографія;
- 4) класичні методи таксації з прямими ручними вимірами та/або візуальним оглядом. Кожен із цих методів підтримується різними засобами технічного забезпечення (Nielsen et al., 2014).

Методи з використанням супутникової зйомки можуть обробляти інформацію для значних за розміром територій. Зображення з високою роздільною здатністю, а також панхроматичні та мультиспектральні знімки, що надходять із сенсорів, розміщених на штучних супутниках Землі, здатні забезпечити інформацію про дерева в урбосередовищі. Інфрачервоні супутникові зображення довжин хвиль, відбитих рослинністю, використовуються для збору інформації на рівні одного дерева (Миронюк & Свинчук, 2012; Nielsen et al., 2014).

Методи аерозйомки дозволяють збирати дані на великих територіях. Літальні пристрої, як і супутники, можуть оснащуватися відповідними сенсорами, такими як мультиспектральні сенсори, різні типи оптичних камер, а також сенсори типу LIDAR (Diachuk, 2022).

Порівняно з дистанційними методами, збір та обробка даних за допомогою цифрового сканування або фотографії обмежені досить невеликими ділянками, оскільки кожне сканування / фотографічне зображення обмежується одним деревом або невеликою групою дерев. Хоча ця технологія стрімко розвивається, її застосування все ще потребує багато часу (Das et al., 2022).

Класичні методи таксації включають в себе прямі інструментальні вимірювання та/або візуальний огляд окремих дерев виконавцями. Незважаючи на те, що польові обстеження є трудомісткими та часовитратними, вони найпоширеніші з чотирьох типів методів, а також єдині затверджені на законодавчому рівні (Миронюк & Свинчук, 2016).

Висота дерева разом із діаметром на висоті 1,3 м вважається одним із найважливіших параметрів дерев (Jurjević et al., 2020), особливо під час інвентаризації лісів та насаджень урбосередовища. Висота дерев часто використовується для обчислення біометричних показників як окремих дерев, так і деревостанів в цілому, зокрема: об'єму деревини, обсягів біомаси, запасу вуглецю, параметрів росту і продуктивності деревостанів (Wang et al., 2019). Значення висоти дерев в умовах міста навіть вагомніше, порівняно з лісовими насадженнями, оскільки точне значення висоти дерев впливає на:

- міське планування та дизайн – знання висоти дерев дає змогу міським планувальникам і архітекторам ефективно враховувати зелені зони в містах, створюючи естетичні та функціонально вигідні ландшафтні рішення. Також висота дерев виступає важливим параметром для оцінки кількості та розташування насаджень у місті. Це допомагає здійснювати стратегічне планування розвитку зелених зон (Zhao et al., 2020);

- оцінки якісного стану дерев – визначення змін у висоті дерев може слугувати індикатором їхнього якісного стану. Зменшення висоти або припинення її нарощування може вказувати на проблеми з розвитком, захворюванням чи наявністю стресових умов росту і розвитку (Israel & Alo, 2023);
- аналіз мікроклімату – великі та високі дерева більшою мірою впливають на клімат урбанізованого середовища, забезпечуючи тінь, поліпшення якості повітря та регулювання температури. Визначення їхніх висот важливо для розуміння цього впливу (Vasagadekar et al., 2023);
- боротьба із забрудненням повітря – великі дерева за рахунок більшої листової площі значніше впливають на зменшення рівня забруднення повітря, поглинаючи деякі шкідливі речовини та затримуючи більшу кількість пилу. Вимір висоти дає змогу повніше розуміти цей ефект та визначати оптимальне розташування дерев для поліпшення якості повітря (Qiu et al., 2020).
- оцінювання ЕП дерев урбосередовища, зокрема за методикою i-Tree (Bidolakh, 2023) та методикою наближеного оцінювання ЕП дерев (Білоус, 2020).

Дані про висоту дерев та інші параметри об'єктів урболісівництва слугують важливим інформаційним ресурсом для планування розвитку міського середовища та якісного управління ним із метою поліпшення якості життя населення міст.

Для вимірювання висоти дерев у процесі інвентаризації та інших облікових робіт переважно використовуються ручні інструменти, які суттєво відрізняються за методикою вимірювання та вартістю висотомірів. На практиці виникають дискусії щодо обґрунтування доцільності використання того чи іншого вимірювального приладу та застосування різних підходів до вимірювання (Макаревич і Білоус, 2024). Саме тому виникла потреба у дослідному порівнянні використання основних найпоширеніших в Україні

висотомірів, зокрема перевірки точності вимірювання висоти дерев за використання висотоміра-далекоміра *TruPulse 360B* у режимі роботи VD.

Висоту окремих дерев можна виміряти за допомогою прямих (вимірювання довжини стовбура зрубаного дерева, за допомогою телескопічних жердин) та непрямих (із використанням кутомірів, висотомірів, висотомірів-далекомірів) методів (Jurjević et al., 2020). Найточніший метод визначення висоти дерева це вимірювання довжини зрубаного дерева. Проте такий спосіб руйнівний і на практиці застосовується рідко, особливо в умовах міського середовища. Окрім цього, для вимірювання висоти дерев можливе застосування телескопічних жердин, але такий метод прийнятний лише для невеликих рослин, як правило, до 15 м (Larjavaara & Muller-Landau, 2013).

Зараз набули поширення непрямі методи з використанням кутомірів, висотомірів та висотомірів-далекомірів (Luoma et al., 2017; Stereńczak et al., 2019). Порівняно з прямими, непрямі методи ефективніші для вищих дерев, бо допомагають вимірювати дерева, вищі за телескопічні жердини. Загально визнано, що визначення висоти дерев висотомірами супроводжується похибками вимірювань через низку різних факторів (структура лісу та дерев, деревний вид, висота дерева, рельєф, відстань вимірювання, помилки приладу і таксатора та ін.) (Stereńczak et al., 2019). Незважаючи на це, такі вимірювання, виконані висококваліфікованим персоналом, все ще визнаються найточнішими доступними оцінками висоти дерев (Jurjević et al., 2020). Варто зауважити, що у лісовій практиці помилки вимірювань традиційно вважаються випадковими (Williams et al., 1994). Зазвичай інструменти для вимірювання висоти дерев базуються на тригонометричному принципові дії, для якого дослідники визначили малу систематичну та високу випадкову похибки (Larjavaara & Muller-Landau, 2013).

Автори роботи (Stereńczak et al., 2019) провели ретельне дослідження вимірювання висоти дерев методом вимірювання довжини стовбура

зрубаного дерева і поширених висотомірів (висотомірів, висотомірів-далекомірів) на основі 2388 дерев ряду деревних видів (*Pinus sylvestris* L., *Picea abies* (L.) H. Karst, *Larix decidua* Mill., *Abies alba* Mill., *Quercus robur* L., *Fagus sylvatica* L., *Alnus glutinosa* Gaertn. та *Betula pendula* Roth.). Усі відібрані дерева були зрубані, а їхня виміряна довжина використовувалася як еталон для підтвердження точності непрямих вимірювань висоти дерев різними приладами, включаючи висотоміри *Suunto PM 5* (Suunto, Фінляндія) та *EC II* (Haglöf, Швеція), ультразвуковий висотомір *VERTEX IV* (Haglöf, Швеція) та висотомір-далекомір *FOREST PRO* (Laser Technology, США). У результаті було виявлено, що тип приладу незначною мірою впливав на точність вимірювання висоти дерев. Однак біометричні (висота дерева, вид дерева та вік дерева) і топографічні (нахил місцевості, висота над рівнем моря) фактори зумовлювали найбільшу похибку в оцінці висоти дерева. Загалом отримано вищу точність вимірювання висоти дерев для хвойних порід.

Подібне дослідження проведено (Bilous et al., 2021) для лісових насаджень, що підтвердило висновки (Williams et al., 1994) про високу точність визначення висоти дерев за допомогою лазерних висотомірів-далекомірів.

Історія інвентаризації зелених насаджень в Україні бере свій початок від затвердження «Инструкции по инвентаризации зеленых насаждений» (Инструкция по инвентаризации зеленых насаждений, утвержденная Главным управлением благоустройства МКХ РСФСР, 1957) у 1957 році. Згадуваний документ отримав виправлення у 1971 році та був затверджений «Приказом об утверждении «Инструкции по инвентаризации зеленых насаждений в городах, рабочих, дачных и курортных поселках РСФСР»». У подібній редакції його затвердили і в незалежній Україні. Ця інструкція є обов'язковою під час виконання робіт з інвентаризації всіх насаджень у межах населеного пункту (Инструкция з інвентаризації зелених насаджень у населених пунктах України, 2001) і слугує основним нормативним

документом, що регламентує проведення інвентаризації об'єктів урболісівництва. Із 2001 року до сьогодні інструкція не мала значних змін, окрім доповнень у 2006, 2007 та у 2014 роках. Аналізуючи зміст вищезазначених правових актів варто звернути увагу, що методологія проведення інвентаризації за більш як шістдесят років майже не зазнала змін у питанні проведення самого процесу обліку (Бідолах, 2020). Наразі під час інвентаризації насаджень урбосередовища використовується методика 1957 року, що була кілька разів перезатверджена та дещо змінила визначення термінів. Відповідно до основних нормативно-правових актів інвентаризація об'єктів урболісівництва здійснюється з метою одержання достовірних даних щодо кількісних і якісних характеристик, посилення відповідальності за збереження, сприяння створенню та формуванню високодекоративних та стійких до несприятливих умов навколишнього природного середовища насаджень, використання даних інвентаризації під час розроблення у населених пунктах програм розвитку урболісівництва, для відновлення, реконструкції та експлуатації насаджень урбосередовища та їх охорони і невиснажливого використання (Інструкція з інвентаризації зелених насаджень у населених пунктах України, 2001)

Відповідальними за проведення інвентаризації об'єктів урболісівництва, в межах повноважень, визначених законодавством, є органи місцевого самоврядування, балансоутримувачі, власники чи користувачі земельних ділянок, підприємства, організації, установи, на території яких розташовані насадження. Інвентаризація об'єктів урболісівництва покладається на суб'єктів господарювання, що проводять технічну інвентаризацію об'єктів нерухомого майна, підприємства, організації, які мають на це право, а також балансоутримувачів об'єктів благоустрою державної чи комунальної форми власності, за наявних технічних можливостей, відповідних фахівців раз на п'ять років від квітня до жовтня (Інструкція з інвентаризації зелених насаджень у населених пунктах України, 2001).

Варто зауважити, що затвердження інструкції з інвентаризації зелених насаджень дало змогу уніфікувати роботи з інвентаризації об'єктів урболісівництва в Україні, проте повної реалізації завдань щодо їх обліку у містах і селах України досягнути не вдалося (Rohovskyi et al., 2021). Станом на 2016 рік тільки у 12 % населених пунктів України існували програми розвитку зелених зон, хоча у містах ця частка зростала до 57 % (Melnyk et al., 2019). Факторами, що негативно впливають на ситуацію з станом урболісівництва, виділяються:

- систематичні реорганізації органів управління в державі, зміна владних повноважень міністерств та відомств, кадрові перестановки і, як наслідок, втрата контролю за процесом;
- недостатнє, часто залишкове, фінансування питань, пов'язаних із благоустроєм і озелененням у більшості міст;
- дефіцит кваліфікованих виконавців, знаючих дендрологію, висококласних спеціалістів для проведення інвентаризації;
- слабка нормативно-правова база на рівні держави, відсутність адміністративних важелів впливу на органи місцевого самоуправління і керівників підприємств за невиконання вимог Закону та інструкції;
- недостатнє розуміння керівниками органів самоуправління і державної влади важливості урболісівництва в містах та його екологічної, містотвірної, декоративно-естетичної ролі, особливо в умовах сучасних змін клімату і, як наслідок, відсутність програм розвитку озелених територій та затверджених правил їх створення, реконструкції та експлуатації (Rohovskyi et al., 2021).

У процесі проведення інвентаризації об'єктів урболісівництва виконавці стикаються із недосконалістю нормативної бази, через що виникає ряд проблемних питань (Макаревич 2021; Макаревич 2022):

- 1) При інвентаризації об'єктів урболісівництва визначається площа під окремими компонентами, у тому числі деревами, чагарниками, квітниками, газонами, стежками тощо. Проте за відсутності затверджених

методик перед виконавцями постає непросте завдання ув'язки площі різних об'єктів. Якщо брати за площу дерева площу проєкції крони, то тоді відбувається накладення таких площ на площу газону, квітника чи куща, що знаходяться під кроною дерева. Так само і з чагарниками – розлогий кущ матиме проєкцію крони, яка заходить на територію газону, квітника чи площу проєкції крони дерева. В кінці визначення площ окремих компонентів виявляється, що сума площ окремих із них значно більша за загальну площу.

2) Відсутня методика визначення висоти дерев (у т.ч. кронованих) під час проведення польових робіт з інвентаризації. Відсутні дані про те, якими методами можна виконувати вимірювання висоти, а також які прилади при цьому застосовувати.

Також не вказано, як визначати висоту в нестандартних випадках:

- Дерево кроноване: висота визначається за найвищою частиною стовбура чи за найвищою частиною парості на верхівці?
- У дерева є декілька стовбурів – яку кількість стовбурів чи який із них обирати для визначення висоти?
- Дерево має значний нахил – висота визначається як відстань до верхівки від кореневої шийки чи від найближчої точки поверхні землі?

3) В інструкції не зазначено методики визначення діаметра дерева, які інструменти застосовувати для вимірювання (мірну стрічку, мірну вилку, чи можливе використання інших інструментів).

4) Також не зазначено як проводити виміри у випадку наявності двох стовбурів і більше в одного дерева:

- як вони відображаються в робочому щоденникові та на абрисі – як окремі дерева чи як одне;
- у разі, як одне, то яка кількість стовбурів має фіксуватися.

1.3. Екосистемні послуги об'єктів урболісівництва як фактор впливу на якість життя населення у містах

Насадження урбосередовища здатні позитивно впливати на якість життя міських жителів (Nowak et al., 2008). Вони визначаються як основний компонент сталого міського планування та управління. Однак об'єкти урболісівництва існують у різних видах та формах, наприклад: алеї, сади, парки, сквери, вертикальне та озеленення дахів (малопоширене в Україні). Для кожного виду озеленення характерний різний набір ЕП (Degerickx et al., 2017). Задля забезпечення посилення ефективності насаджень урбосередовища необхідне чітке управління (Edgar et al., 2021). Під управлінням розуміється сприяння оптимальному росту і розвитку, забезпечення захисту рослин, а також стратегічне й тактичне планування розвитку об'єктів урболісівництва (Rossi et al., 2022). Правильне планування повинно спиратися на достовірні дані обліку як самих насаджень урбосередовища, так і ЕП, що надаються ними. Основними світовими тенденціями вивчення ЕП нині виділяється депонування вуглецю (Misni et al., 2015) і, як наслідок, накопичення енергії (Дідух, 2007) та киснепродуктивність (Nowak, 2006).

Міський тепловий острів (МТО) – метеорологічне явище, коли через діяльність людини температура у містах вища, ніж у навколишній сільській місцевості. Як правило, температурна різниця помітніша вночі та за слабкого вітру, тоді як найчіткіше цей феномен виражений влітку та взимку (Solecki et al., 2005). Дослідники (Masalskiy & Kuznetsov, 2018; Rahman et al., 2020; Teshnehdel et al., 2020; Xi et al., 2023; Zhou et al., 2023) експериментальним шляхом визначили позитивний вплив об'єктів урболісівництва на зниження температурних показників влітку від 4°C до 12°C. Зниження температури відбувається в основному в тіні дерев. Показники варіюють залежно від деревного виду. Встановлено, що різкіший контраст температур спостерігається в тіні дерев із щільною кроною, таких як *Tilia cordata*, та менш різкий під деревами з ажурною кроною, наприклад *Robinia*

pseudoacacia (Rahman et al., 2020). Це призводить до поліпшення літньої фізіологічно-еквівалентної температури від 34,92 °С до 26,16 °С, змінюючись від гарячого теплового відчуття до злегка теплого (Teshnehdel et al., 2020). Найбільшою мірою на температуру повітря впливають стиглі й перестиглі насадження висотою понад 20 м (Masalskiy & Kuznetsov, 2018). Також встановлено, що деревні масиви (парки, сквери) можуть впливати на температурний режим прилеглих територій. Масив площею 0,1 га здатен знижувати температуру до 1°С на відстані до 25 м, а масив площею до 3 га на цій же відстані – утворити перепад на 2°С. Незначний вплив, до 0,5°С, спостерігається на відстані 200 м від масивів площею 5 га (Masalskiy & Kuznetsov, 2018). Також ДУ можуть знизити енерговитрати на кондиціонування повітря в будівлях, що розташовані біля деревних масивів (Mcdonald et al., 2021; Solecki et al., 2005). Окрім зниження температури влітку дерева впливають на тепловий режим взимку. Дослідження показали, що озеленені території відрізняються дещо вищою температурою в зимовий період порівняно з неозеленими (Калініченко, 2003).

Групою дослідників (Shi et al., 2013) визначено кількість кисню, яка продукується об'єктами урболісівництва на одиницю площі. При цьому конфігурація різних типів детально вивчена за допомогою інтенсивності фотосинтезу рослин та індексу площі листя. При проектуванні міського озеленення вибір типу рослинності залежить від аналізу здатності до виділення кисню. Використання дерев як основи конструкції об'єктів урболісівництва повніше відповідає ідеї екологічного та сталого розвитку (Shi et al., 2013). Проте киснепродуктивність створює досить незначний корисний вплив через велику і відносно стабільну кількість кисню в атмосфері та інтенсивне його виробництво водними екосистемами. В земній атмосфері наявний величезний запас кисню. Так, якщо спалити всі запаси викопного палива, всі дерева і всю органічну речовину в ґрунтах, вміст кисню в атмосфері зменшиться лише на кілька відсотків (Broecker, 1970)

Наслідком процесу фотосинтезу є накопичення енергії в компонентах фітомаси. В процесі фотосинтезу рослини здатні збирати світлову енергію за допомогою хлорофілу та інших пігментів, а потім перетворювати її на хімічну енергію органічних сполук. Накопичення енергії тісно пов'язане з процесами киснепродуктивності та депонування вуглецю. Комплексний вплив енергетичної функції на зменшення викидів CO₂ слугує предметом дослідження учених з різних країн (Василишин et al. 2019). Оцінка енергетичного потенціалу в жодному разі не переводить розгляд урбоєкосистем у ресурсний потенціал, натомість виступає мірою природних процесів, їх ефективності та потужності (Дідух, 2007).

Окрім продукування кисню під час перебігу процесу фотосинтезу відбувається процес депонування вуглецю, тобто рослини вбирають з повітря вуглекислий газ, чим зменшують його концентрацію. Наразі це дуже актуальне питання, оскільки глобальне потепління виникає за рахунок явища «парникового ефекту» (Anderegg et al., 2010; Cook et al., 2013). Парниковий ефект у свою чергу пов'язаний зі збільшеною концентрацією парникових газів в атмосфері Землі, одним з яких є вуглекислий газ. Оскільки урбанізоване середовище одне з головних продуцентів вуглекислого газу (Lahoti et al., 2020; Misni et al., 2015; Strohbach et al., 2012), виникає потреба зменшення концентрації CO₂ безпосередньо в межах міст. Впоратися з цим завданням покликані насадження урбосередовища. Проте останні не лише поглинають, а й продукують CO₂ (Strohbach et al., 2012) у наслідок розкладання залишків відмерлих рослин. Рослинність у містах в основному створюється та інтенсивно доглядається людьми з використанням засобів, які працюють на викопному паливі, зрошення, внесення добрив, що супроводжується CO₂ викидами. Все це ускладнює точну оцінку потоків вуглецю, пов'язаних із об'єктами урболісівництва (Pataki et al., 2011). Пряме обчислення потоків вуглецю за допомогою вимірювання вихрової коваріації у містах досить складне (Grimmond et al., 2002; Nemitz et al., 2002). Ця невизначеність протиставляється потребі в розумінні ролі міст у вуглецевому

циклі (Raciti et al., 2012) і в надійній інформації про екологічну ефективність різних міських земель, щоб полегшити планування значно стійкіших міст (Nutyra et al., 2011).

В Україні вагомий внесок у розробку основних теоретичних і методичних підходів щодо обліку ЕП, облік кількісних показників окремих ЕП лісів здійснено вченими протягом останніх 25 років (Швиденко et al. 2014; Лакида et al. 2018; Василюшин 2007; Білоус 2020) та ін. Натепер на теренах України найбільш узагальнена і доповнена методика наближеного оцінювання ЕП дерев, розроблена та апробована проф. А. М. Білоусом (Білоус, 2020).

В умовах сьогодення значно зріс інтерес людей до компенсації дискомфорту, створеного сучасним урбанізованим середовищем. Вирішити такий запит суспільства покликані нематеріальні ЕП. До них відносяться естетичні, гігієнічні, виховні, рекреаційні та інші, що не мають фізичного виміру. Дослідниками (Oleksiichenko & Gatalska, 2017) виявлено, що оцінювання естетичної привабливості природних ландшафтів базується на визначенні найцінніших ландшафтних угруповань для їх збереження та використання результатів такого оцінювання в адаптації окремих територій до потреб населення. Дослідження естетичних якостей ландшафту здійснюють для визначення відповідності функціям, що на них покладені, та сучасним потребам людини (Гатальська, 2020). Важливою частиною такої оцінки виділяється використання впливу кольору в ландшафтній архітектурі. Колористика стає перспективним напрямом, який дасть змогу як поліпшити естетику, так і сформувавши середовище відповідно до функціональних та тематичних особливостей садово-паркового об'єкта (Oleksiichenko & Mavko, 2019). До нематеріальних послуг також можна віднести дослідження оцінки рекреаційних властивостей (Сірук & Сірук, 2024). Окремо колективом авторів (Solopenko et al., 2021) оцінено залежність рекреаційних властивостей і стійкості до рекреаційного навантаження від таксаційних показників об'єктів урболісівництва.

Отже, звідси, об'єкти урболісівництва продукують ЕП, що відіграють ключову роль у забезпеченні якісного середовища для життя міського населення. Саме тому оцінювання ЕП може слугувати підґрунтям для встановлення балансової та відновної вартості, що допоможе усвідомити всю цінність насаджень урбосередовища (Nowak & Aevermann, 2019).

Висновки до розділу 1

1. Швидкі темпи урбанізації вимагають розробки й впровадження стратегій урболісівництва, що покликані забезпечити ефективне управління на місцевому і регіональному рівнях як складової концепції сталого розвитку. Реалізація таких стратегій потребує активної участі громадськості. Крім того, необхідно постійно оцінювати ефективність стратегій та коригувати їх згідно з потребами та обставинами міста.

2. Більшість великих міст як у світі, так і в Україні не досягли рекомендованих показників озеленення. Програми розвитку зеленої інфраструктури в українських містах стали важливим кроком у цьому напрямі, проте їхня ефективність потребує подальшого моніторингу та коригування.

3. Процес інвентаризації об'єктів урболісівництва потребує вдосконалення та приведення до вимог сьогодення. Розвиток технологій у цій галузі дозволяє зробити процес інвентаризації більш ефективним та точним. Необхідно також звертати увагу на стандартизацію методів та оцінку їхньої точності для забезпечення надійності отриманих даних, зокрема про основні біометричні параметри деревної рослинності. Загальний інтерес до інвентаризації свідчить про важливість досліджень у цій сфері та бажання поліпшити управління міською зеленою інфраструктурою для забезпечення сталого розвитку.

4. Стосовно польових і камеральних робіт інвентаризації насаджень урбосередовища відсутнє достатнє методичне забезпечення щодо способів таксації та обліку об'єктів урболісівництва.

5. Враховуючи внесок насаджень урбосередовища у зменшення витрат на енергію для кондиціонування повітря, здоров'я мешканців міста і загальну якість життя оцінювання ЕП дерев може слугувати за основою для встановлення балансової та відновної вартості об'єктів урболісівництва.

6. Об'єкти урболісівництва створюють опосередковану дію на регулювання якості повітря, зокрема на зменшення концентрації вуглекислого газу в середовищі його підвищеної продуктивності.

7. Попри тривалу практику інвентаризації об'єктів урболісівництва населених пунктів в Україні не здійснюється оцінювання ЕП дерев для відображення їхньої корисності у вартісних показниках.

Матеріали розділу опубліковано у працях (Макаревич 2021; Макаревич 2022).

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ХАРАКТЕРИСТИКА ДОСЛІДНИХ ДАНИХ

2.1. Методика дослідної інвентаризації об'єктів урболісівництва

Інвентаризація об'єктів урболісівництва забудованої частини міста здійснюється з метою одержання достовірних даних щодо кількісних і якісних характеристик об'єктів урболісівництва на території населеного пункту. Вона передбачає: визначення загальної площі, що знаходиться під об'єктами урболісівництва; встановлення кількості дерев і чагарників за видами насаджень, породами, віком, діаметром на висоті 1,3 м стовбурів дерев та стану їхнього утримання; розрахунок вартості об'єктів урболісівництва загалом та його окремих ділянок (Інструкція з інвентаризації зелених насаджень у населених пунктах України, 2001).

Відповідно до інструкції з інвентаризації зелених насаджень у населених пунктах України першим етапом стало зняття копій з наявних картографічних матеріалів дослідних ділянок, на яких повинна проводитися інвентаризація (Інструкція з інвентаризації зелених насаджень у населених пунктах України, 2001). Під час дослідження використовувалися готові картографічні матеріали у вигляді плану та ортофотоплану, отримані за допомогою БПЛА із подальшою фотограмметричною обробкою.

Наступний етап – рекогносцирувальний огляд ділянки з метою порівняння картографічних матеріалів з об'єктами в натурі, та виявлення помилок складання картографічних матеріалів з подальшим їх виправленням.

У процесі проведення польових робіт збиралися дані стосовно розміщення та характеристик дерев, чагарників, живоплотів, бордюрів, квітників і газонів (Інструкція з інвентаризації зелених насаджень у населених пунктах України, 2001). Реєстрація даних відбувалася в робочому щоденнику обліку зелених насаджень у відповідних відомостях обліку,

наведених у додатку (Інструкція з інвентаризації зелених насаджень у населених пунктах України, 2001).

Для зручності проведення обліку об'єкт, що інвентаризується, поділявся на умовні облікові ділянки. Цим обліковим ділянкам присвоювали порядкові номери, які на картографічних матеріалах відмічалися числом, вписаним у коло. Відмежування ділянок відбувалося в основному по лініях сталих об'єктів внутрішньої ситуації (доріжках, алеях, в окремих випадках – парканах). Опис ДУ проводився методом маршрутних обстежень.

Опис розпочинався з присвоєння порядкових номерів деревам та відмітки їх на абрисі. Наступним кроком було визначення основних таксаційних показників. Для дерев встановлювалася видова і родова назви, у випадку виявлення не поширених видів використовувався додаток Pl@ntNET (*Identify, explore and share your observations of wild plants*, 2014). Показники висоти дерев отримали за допомогою лазерних висотомірів LASER TECH *TruPulse 360* та *TruPulse 200*.

Діаметр на висоті 1,3 м вимірювали за допомогою мірної вилки, а у випадках обміру дерев з діаметром більше 80 см для вимірювання обхвату стовбура, з подальшим перерахунком на діаметр, використовували мірну стрічку. Діаметри стовбурів дерев вимірювали за загальноприйнятою в лісовій таксації методикою (Миронюк & Свинчук, 2016) у двох взаємно перпендикулярних напрямках.

Щодо групових і рядових посадок, то у відомості щоденника польових робіт фіксується показник середнього діаметра та зазначенням кількості дерев у відповідній колонці.

На основі візуального огляду визначався клас якісного стану дерев. Згідно з (Інструкцією з інвентаризації зелених насаджень у населених пунктах України, 2001) виокремлюється три класи:

- добрий – дерева здорові, нормально розвинуті, з густим, рівномірно розміщеним на гілках, нормального розміру і

забарвлення листям чи хвоєю, не мають ознак хвороб, шкідників, ран, пошкоджень стовбура і скелетних гілок, а також дупел;

- задовільний – дерева здорові, проте з ознаками вповільненого росту, з нерівномірно розвиненою кроною, на гілках мало листя, також присутні незначні механічні пошкодження і невеликі дупла;
- незадовільний – дерева дуже ослаблені, у них викривлені стовбури із слабо розвиненими кронами, наявні сухі та всихаючі гілки, фіксується незначний приріст однорічних пагонів, на стовбурі спостерігаються механічні пошкодження та дупла.

2.2. Методика оцінки точності визначення середнього діаметра багатостовбурних дерев

Мета експерименту полягала в оцінці точності визначення середнього діаметра дерев, що мають більше трьох стовбурів. У процесі дослідження визначалася можливість встановлення показника середнього діаметра як середнє арифметичне значення на основі показників стовбурів, відібраних випадковим чином, у кількості від одного до трьох стовбурів. Оскільки такий відбір може відрізнятися комбінаціями для різних спостережень, то для оцінки точності цього підходу доцільно врахувати всі можливі комбінації. Залежно від кількості стовбурів, що вимірюються, можлива різна кількість варіантів комбінацій відбору дерев. Для прикладу оберемо перше дерево, що має сім стовбурів. У випадку встановлення середнього діаметра на основі обміру одного стовбура можлива кількість варіантів дорівнює кількості стовбурів, тобто семи. Для визначення середнього діаметра за даними двох чи трьох відібраних випадковим чином стовбурів кількість варіантів комбінацій збільшується. Визначення максимально можливої кількості комбінацій стовбурів, тобто всіх можливих варіантів розраховувалася за формулою 2.1.

$$C = \frac{n!}{m!(n-m)!}, \quad (2.1)$$

де C – число комбінацій; n – кількість стовбурів дерева, шт.; m – кількість відібраних стовбурів, шт.

Також розраховували середні значення діаметрів всіх можливих комбінацій стовбурів при відповідних відборах одного, двох чи трьох стовбурів. Для проміжного контролю правильності розрахунків визначали середнє значення з усіх комбінацій – воно має збігатися із середнім значенням діаметра для всіх стовбурів дерева.

Наступним кроком стало визначення стандартного відхилення, що розраховувалося за формулою 2.2.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n-1}}, \quad (2.2)$$

де σ – стандартне відхилення; i – порядковий номер стовбура; x_i – розраховане значення; \bar{x} – фактичне значення; n – кількість спостережень.

У випадку розрахунків для першого дерева за формулою 2.2 за розраховане значення бралось середнє з двох або трьох стовбурів, відібраних випадковим чином. За істинне (фактичне) – приймалося значення середнього діаметра стовбура дерева. Кількість спостережень відповідає можливій кількості комбінацій стовбурів, розрахованій за формулою 2.1. Після цього визначали стандартну помилку за формулою 2.3.

$$m_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}, \quad (2.3)$$

де $m_{\bar{x}}$ – стандартна помилка; σ – стандартне відхилення; n – кількість спостережень.

Наступним кроком встановлюється довірчий інтервал із 95% рівнем значущості. Оскільки переважна більшість комбінацій стовбурів окремих дерев складатимуть малі статистичні вибірки, варто застосувати формулу 2.4.

$$CL_{95} = t \times m_{\bar{x}} , \quad (2.4)$$

де CL_{95} – довірчий інтервал із рівнем значущості 95%; t – критичне значення розподілу Стьюдента; $m_{\bar{x}}$ – стандартна помилка.

Для розрахунку значень довірчого інтервалу, окрім розрахованого за формулою 2.3 значення стандартної помилки, визначали критичне значення t -розподілу Стьюдента при рівні значущості 0,975, оскільки при цьому буде враховуватися 95% у межах від 2,5% до 97,5% вибірки. Разом із тим для випадків, коли кількість комбінацій перевершує тридцять, табличне значення набуває $t \sim 2$.

Останнім етапом визначалася відносна помилка, що розраховується за формулою 2.5.

$$P = \frac{CI_{95}}{\bar{x}} \times 100\% , \quad (2.5)$$

де P – відносна величина помилки; CI_{95} – довірчий інтервал із рівнем значущості 95%; \bar{x} – середнє (фактичне) значення.

2.3. Методичні засади оцінювання екосистемних послуг дерев урбосередовища

Існують різні підходи та методи оцінювання різноманітних ЕП, які надаються об'єктами урболісівництва, що охоплюють кілька основних етапів:

- ідентифікація послуг екосистеми;
- вимірювання та кількісна оцінка послуг;
- оцінка економічної вартості послуг.

2.3.1 Методика наближеного оцінювання екосистемних послуг дерев

Визначення ЕП дерев у об'єктів урболісівництва можливе за комплексного використання методу наближеної таксації і нормативно-

довідкових матеріалів для оцінювання фітомаси дерев та деревостанів (Білоус & Макаревич, 2021). Ця методика (Білоус, 2020) ґрунтується на поєднанні методу таксації поточного приросту дерев, методу наближеної таксації об'єму стовбурів дерев (метод проф. К.Є. Нікітіна) та нормативно-довідкових матеріалів для таксації лісу, зокрема Лісотаксаційного довідника (Білоус et al., 2021) нормативів оцінки фітомаси дерев (Лакида et al., 2011) (рис. 2.1.).



Рис. 2.1. Узагальнена схема методики наближеного оцінювання ЕП

Методика наближеного оцінювання ЕП у своїй основі спирається на гіпотезу щодо рівномірного росту і розвитку окремих компонентів дерева, а отже, і показника поточного приросту. Вона передбачає встановлення відсотка поточного приросту стовбурів дерев, відсотка кори стовбурів, об'єму деревини і кори стовбурів, а також об'єму деревини і кори гілок дерев.

Вищезазначені показники становлять основу для визначення поточного приросту фітомаси стовбурів і крон дерев та їхньої загальної фітомаси (Білоус & Макаревич, 2021). У свою чергу показники фітомаси слугують базисом для оцінювання біофізичних параметрів ЕП дерев, зокрема:

- поточного та загального депонування вуглецю;

- поточної і загальної киснепродуктивності;
- поточного і загального накопичення енергії.

Оцінювання біофізичних і вартісних показників ЕП дерев дозволяє обґрунтувати екологічне й економічне значення дерев у зелених та лісових насадженнях.

Оцінювання ЕП дерев на території НУБіП України проводили на базі їхніх біометричних показників: діаметра на висоті 1,3 м і загальної висоти, а також значень радіального приросту на основі наявних баз даних приросту дерев забудованої частини міста. Наступним кроком став підбір нормативно-довідникової інформації, що передбачає використання таблиць приростів, таблиць фітомаси й таблиць щільності. Після цього відбувався підбір формул для встановлення об'єму стовбурів ростучих дерев (О. М. Леснік, 2020; A. Vilous et al., 2022; Zianis et al., 2005), а також підбір видів-замінників.

Для оцінювання ЕП дерев урбоекосистем розраховували різні складові (стовбур у корі, скелетних та дрібних гілок крони в корі, листя, кореня) та загальну біомасу дерев і їхнього відсотка поточного приросту. Розрахунок фітомаси проводився множенням об'єму на показник базисної щільності деревини. На основі отриманих значень оцінювалися основні показники ЕП: загальний вуглець дерев та поточний приріст вуглецю, загальний обсяг виділеного кисню та його поточна продуктивність, загальний обсяг накопиченої енергії та поточний приріст енергії. Наприкінці виконували вартісне оцінювання продуктованих ЕП дерев урбосередовища станом на 01.01.2022 р.

2.3.2. Методика оцінювання екосистемних послуг i-Tree eco

Під час проведення інвентаризації дослідних ділянок додатково вимірювали параметри деревних рослин за допомогою інструментарію i-Tree eco (*Tree Benefits!* / *i-Tree*, 2006) для визначення обсягу отримуваних ЕП. Додаткові вимірювання здійснено на території навчальних корпусів №1, №2, №3 та скверу «Ювілейний», що розташований між територіями корпусів

№2 та №3 (дод. Б). Наведені облікові ділянки представляють всі варіанти щільності зростання дерев на території вищого навчального закладу.

Під час обліку зібрано дані щодо діаметра на висоті 1,3 м від поверхні землі, висоту дерева, висоту початку крони, висоту живої частини крони, протяжність крони із заходу на схід та з півночі на південь, відсоток відсутньої частини крони, відсоток відмирання крони та оцінку освітленості крони. Для визначення діаметра дерева використовували мірну вилку *Haglöf Mantax Precision Blue 650 мм*. Діаметр вимірювали в двох взаємоперпендикулярних напрямках та визначали середнє значення між ними. У випадку таксації багатостовбурних дерев інструментарій *i-Tree eco* передбачає можливість виміряти до шести діаметрів стовбурів для одного дерева. Висоту дерев встановлювали за допомогою висотоміра-далекоміра *TruPulse 360B* у режимі роботи трьох замірів. За висоту початку крони слугувала вертикальна відстань від поверхні землі до найнижчої точки (гілки, листя чи хвої). Висоту крони визначали як найвищу точку живої частини крони. Протяжність крони із заходу на схід та з півночі на південь вимірювали за допомогою лазерної рулетки *SOUTH PD-520N*. Відсутність крони визначали як відсоток нестачі крони в межах умовної лінії «еталонної крони». Втрату крони оцінювали як відсоток всихання чи пошкодження крони. Відсоткові значення визначалися з кроком 5%. Освітленість крони розраховували як сумарну оцінку від нуля до п'яти. Крона умовно розділялася в горизонтальній площині на чотири сектори по 90°. За кожен сектор, що освітлювався протягом дня, нараховувався один бал. Ще один бал надавали за освітленість вершини.

Окрім таксаційних показників визначали географічні координати розташування кожної рослини, а також відстань до найближчої будівлі. Оскільки в процесі інвентаризації насаджень урбосередовища використовували картографічні матеріали з вже нанесеними об'єктами внутрішньої ситуації, зокрема деревами та будівлями, координати дерев у

натурі не вимірювали, а послуговувалися вже наявною інформацією за допомогою ГІС системи з відкритим кодом – QGIS.

Польові дані заносили в електронну таблицю табличного процесора MS Excel та за допомогою вбудованого інструмента імпортували в базу даних проєкту i-Tree есо з їхньою подальшою стандартизацією. Після валідації даних файл проєкту надсилали на обробку.

2.4. Характеристика дослідних даних

2.4.1. Характеристика дослідних ділянок

Збір дослідних даних проводився в Голосіївському районі м. Києва на території Національного університету біоресурсів і природокористування України. При цьому було визначено вісім окремих дослідних ділянок, що виокремлювалися за даними розмежування земель держгеокадастру та мають загальну площу 38,2 га (дод. А). Розподіл загальної площі між дослідними ділянками склався нерівномірно (табл. 2.1).

Таблиця 2.1

Розподіл площі території НУБіП України

Номер дослідної ділянки	Структурні елементи	Номери облікових чи субоблікових ділянок	Загальна площа, га
1	Корпус №6	1; 2; 3	0,94
2	Гуртожиток №4	1; 2; 3	0,41
3	Гуртожиток №5	1,1; 1,2; 1,3	1,53
	Гуртожиток №6	2,1; 2,2; 2,3; 2,4;	
	Гуртожиток №7	3,1; 3,2; 3,3; 3,4	
4	Корпус №12	1, 2, 3, 4, 5, 6	6,38
5	Гуртожиток №2	1, 2	2,22
	Гуртожиток №8	3, 4	
	Гуртожиток №3	5	
	Меблевий цех	6	
	Схил до дороги	7	

Продовження табл. 2.1

Номер дослідної ділянки	Структурні елементи	Номери облікових чи субоблікових ділянок	Загальна площа, га
6	Корпус №2	1,1; 1,2; 1,3; 1,4	5,94
	Корпус №3	3	
	Корпус №4	4,1; 4,2; 4,3; 4,4	
	Корпус №10	5	
	Сквер «Ювілейний»	2	
7	Корпус №1	8,1; 8,2	7,68
	Корпус №1б	8,3	
	Гуртожиток №1	1	
	Гуртожиток №9	2	
	Гуртожиток №10	4	
	Гуртожиток №11	5	
	Гуртожиток №12	3,1; 3,2	
	Студентська їдальня	6	
	Житловий будинок	7	
	Доріжка	8,4	
8	Корпус №5	10	13,10
	Корпус №7	9,1	
	Корпус №7а	9,2	
	Корпус №8	1	
	Корпус №9	3	
	Корпус №11	8,1; 8,2	
	Корпус №13	7	
	Корпус №17	6	
	Склад	6	
	Майстерня	6	
	Спортивний стадіон	4,1; 4,2	
	Військова кафедра	7	
	Сквер «Студентський»	2,1; 2,2	
	Разом		38,20

Найбільшою виявилася площа дослідної ділянки №8, яка включає території навчальних корпусів №5, №7, №8, №9, №11, №13, №15, №17, та територію складу НУБіП України і «Студентського скверу». На неї припадає

34% від загальної площі, тоді як найменшою відзначена ділянка на території гуртожитку №4 – 1% від загальної.

Загалом на території НУБіП України обліковано 111 деревних видів у кількості 4236 дерев (Макаревич 2023а; 2023b). Також на території корпусу №12 обліковано дві ділянки із насадженнями лісового типу. В розподілі за віком переважають дерева до 10 років (табл. 2.2).

Таблиця 2.2

Вікова структура дерев дослідних ділянок за ступенями товщини

Ступінь товщини, см	Вік, років										
	до 10	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	61-70	71-80	81-90	91-100	понад 100
4	808	147	6	1				1			
8	185	144	39	3		1					
12	29	163	73	13	5						
16	12	132	121	20	11	2					
20	3	78	97	53	21	6		1			
24	1	30	100	80	31	10	1				
28	1	15	67	124	43	17	2	3	1		
32		4	45	116	48	17	2	9			
36		1	20	74	83	34	13	4	2		1
40		3	3	49	67	46	7	2	3	1	
44		1	3	28	52	37	14	5	4		
48		2	4	13	34	43	9	6	2		
52			2	8	20	25	12	5	6	1	
56		1	2	6	12	18	13	6	4		
60				4	11	14	11	7	3	2	1
64				2	6	14	4	10	6	3	1
68				2	1	9	4	3	3	4	1
72		1	1		1	6	7	4	6	3	
76			1		3	1	3	5	5		1
80				1		3	1			1	2
84					1	2	4		2	1	
88					2	2	1		2		
92			3		1	1	3			1	2
96							2				
104			1		1	1					
112						1		1			
116											1
124											2
128											1
132											1
144											2
148											1
152											2
172							1				

За наведеними даними, дерева віком менше 21 року становлять понад 47%, дерева старші 90 років – менше 1% від загальної кількості. Понад 22% деревних рослин відносяться до ступеня товщини 4 см та 0,4% – 100 см і більше. Розподіл дерев за висотою та віком характеризується перевагою молодих невисоких дерев (табл. 2.3).

Таблиця 2.3

Вікова структура дерев дослідних ділянок за висотою

Висота, м	Вік, років										
	до 10	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	61-70	71-80	81-90	91-100	понад 100
1	201	22									
2	307	50	4			2					
3	206	65	4	2				1			
4	175	72	18	3	2	1					
5	79	65	21	3	2						
6	90	77	35	9	5	2					
7	60	84	66	10	7	3					
8	51	49	74	26	12	8	3	1			
9	45	58	41	43	14	9		7			
10	23	41	46	32	12	8		7			
11	6	35	38	38	20	5	1		1		
12	3	28	34	36	15	8		1			
13	1	22	36	46	31	13	2		1		
14	1	22	30	56	46	22	3	2			
15	1	12	34	60	44	27	6	3	1		
16		15	21	53	45	27	14	1		1	
17		11	21	45	29	25	6	3	5		1
18	1	6	16	46	34	28	10	7	4		
19		6	12	15	15	28	5	6	4		
20		1	13	27	23	20	8	5	3	1	2
21			5	14	18	23	12	3	7	1	1
22	1		3	15	19	8	6	6	1		
23			3	5	19	7	7	7	3	1	3
24		1	4	4	8	6	8	1	4		2
25		1	3	2	8	8	8	2	4	1	
26			2	1	10	6	3		1		4
27		1		1	4	3	2		2	1	1
28			2	1	1	3	2	2	4	2	
29					2	1	2	2		2	
30			1		4	3	2	4	3	1	1
31					5	3	3		1		
32				1				1		3	3
33			1	1		3	1			1	
34				1						1	1
35				1						1	

На дерева висотою до 2 м, висоту яких можна виміряти за допомогою мірної стрічки чи рулетки, припадає 11.8%, до 5 м – 30,1%. У більше половини дерев висота не досягає до 10 м, за 90% – до 20 м.

Понад 61% дерев відзначаються добрим якісним станом (табл. 2.4). Однак більше третини дерев, що відносяться до класу якості «задовільний», можуть бути свідченням необхідності посилення догляду.

Таблиця 2.4

Вікова структура дерев дослідних ділянок за якісним станом

Вік, років	Якісний стан		
	добрий	задовільний	незадовільний
До 10	777	404	89
11-20	511	202	31
21-30	401	160	27
31-40	341	234	23
41-50	249	182	23
51-60	191	107	12
61-70	61	51	2
71-80	16	51	5
81-90	21	26	2
91-100	12	4	1
Понад 100	6	10	3

Як показує наведений вище розподіл, із віком збільшується частка дерев задовільного якісного стану. Від віку понад 60 років частка дерев класу якості «задовільний» починає зрівнюватися та в подальшому переважати кількісно дерева класу якості «добрий». В основному такі дерева представлені м'яколистими швидкорослими видами, що вже вичерпали свій термін експлуатації.

Оскільки дослідні ділянки відрізняються не лише за площею, вважаємо за доцільне охарактеризувати кожну дослідну ділянку окремо. Зокрема, на території навколо навчального корпусу №6 (дослідна ділянка №1) дерева представлені дев'ятнадцятьма деревними видами (п'ять з яких хвойні) у кількості 53 шт., з незначною перевагою хвойних (29 шт) (табл. 2.5).

Дерева території корпусу №6 НУБіП України

Деревний вид	Кількість дерев, шт.	Мінімальний вік, років	Максимальний вік, років	Середній діаметр на висоті 1,3 м стовбура, см	Середня висота, м
Абрикос звичайний	2	7	14	8,6	5,6
Береза повисла	2	30	67	58,6	19,8
Гірकोкаштан звичайний	2	18	18	35,4	12,5
Горіх грецький	1	25	25	23,7	9,0
Горіх манджурський	1	12	12	8,6	5,4
Горобина звичайна	1	10	10	4,6	3,4
Дуб червоний	1	18	18	17,3	7,5
Катальпа гібридна	3	7	8	2,9	2,3
Клен гостролистий	3	5	18	11,3	6,1
Липа серцелиста	2	18	60	36,0	10,0
Біота східна	6	7	7	1,5	1,4
Робінія звичайна	1	18	18	54,8	15,3
Сумах оленерогий	1	5	5	2,5	2,1
Тис ягідний	6	10	10	-	1,2
Тополя італійська	4	28	28	90,4	17,9
Туя західна	12	7	30	4,5	3,0
Ялина європейська	6	18	35	28,8	15,3

Найвищими середніми показниками висоти та віку виділяється береза повисла, найбільшим діаметром на висоті 1,3 м – тополя італійська. Висота жодного дерева тису ягідного не досягла 1,3 м. За якісним станом дерева розподілилися наступним чином: 58% дерев класу якості «добрий», 36% класу якості «задовільний» та 6% – «незадовільний».

На дослідній ділянці №2, що розміщена на території навколо гуртожитку №4 НУБіП України, зростає 13 видів дерев, три з яких хвойні, представлені у кількості 46 шт. (табл. 2.6). Із них шість дерев хвойних і 40 листяних видів. Найвища середня висота встановлена для берези повислої, найвище середнє значення діаметра на висоті 1,3 м – у тополі пірамідальної. За якісним станом ситуація незадовільна, адже переважаючим класом якості для дерев виявлено «задовільний» з часткою в 65%, клас якості «добрий» посідає друге місце – 24%, і клас «незадовільний» становить 11%. Таку

ситуацію можна пояснити недостатнім інтервалом між посадковими місцями та ненестачею якісного догляду за деревами.

Таблиця 2.6

Дерева території гуртожитку №4 НУБіП України

Деревний вид	Кількість дерев, шт.	Мінімальний вік, років	Максимальний вік, років	Середній діаметр на висоті 1,3 м стовбура, см	Середня висота, м
Береза повисла	3	60	60	52,8	19,5
Вишня домашня	5	8	50	7,8	3,5
Гірकोкаштан звичайний	12	40	60	36,7	14,0
Клен гостролистий	5	40	60	35,4	14,0
Клен ясенелистий	2	5	7	4,95	3,80
Клен несправжньо-платановий	1	30	30	33,6	13,1
Липа серцелиста	3	30	60	39,8	15,3
Тополя пірамідальна	1	60	60	105,0	19,0
Туя західна	2	15	15	3,3	2,4
Шовковиця біла	1	15	15	16,6	10,1
Ялина європейська	3	8	8	2,1	2,2
Ялівець звичайний	1	12	12	2,0	2,3
Ясен звичайний	7	12	60	26,7	11,6

На території гуртожитків №5, №6, №7 НУБіП України (дослідна ділянка №3) зростає 27 видів дерев у кількості 252 шт., п'ять видів – хвойні (119 дерев), що становить 67,3% від загальної кількості (табл. 2.7). Варто зауважити, що туя західна представлена чотирма культиварами. За спостереженнями видом, що використовується найчастіше в озелененні території згаданої ділянки стали туя західна та її культивари (35,7% від загальної кількості дерев) серед хвойних, та гірकोкаштан звичайний (21,4% від загальної кількості дерев) серед листяних. Найбільший вік зафіксовано для гірकोкаштана звичайного, берези повислої та тополі бальзамічної і пірамідальної. Найвищі середні показники діаметра та висоти встановлено в тополі пірамідальної. Розподіл дерев за якісним станом вказує на потребу посилення догляду за об'єктами урболісівництва в несприятливих умовах урбанізованого середовища. На дерева класу якості «добрий» припадає лише

52%, причому частка дерев класу якості «задовільний» становить 47%, класу якості «незадовільний» – 1%. Це може свідчити про відсутність правильного планування при створенні та належного догляду за ними.

Таблиця 2.7

Дерева території гуртожитків № 5, №6, №7 НУБіП України

Деревний вид	Кількість дерев, шт.	Мінімальний вік, років	Максимальний вік, років	Середній діаметр на висоті 1,3 м стовбура, см	Середня висота, м
Абрикос звичайний	1	35	35	28,5	8,6
Береза повисла	9	15	60	26,9	12,8
В'яз гладкий	2	35	50	30,8	17,3
Гінго дволопатеве	2	4	4	-	1,0
Гіркокаштан звичайний	54	35	60	33,1	14,9
Горіх грецький	1	17	17	8,9	6,7
Горобина звичайна	1	3	3	-	0,8
Граб звичайний	2	40	40	28,8	19,4
Катальпа гібридна	4	2	4	4,3	2,0
Клен гостролистий	2	50	50	43,6	24,2
Клен несправжньо-платановий	3	35	35	27,7	15,0
Липа великолиста	1	10	10	7,5	6,0
Липа серцелиста	21	35	50	30,4	16,7
Сосна звичайна	7	10	15	9,9	5,7
Сумах оленерогий	1	5	5	1,0	2,2
Тополя бальзамічна	1	60	60	63,7	21,3
Тополя італійська	1	50	50	63,3	23,2
Тополя пірамідальна	5	60	60	73,4	31,1
Туя західна	41	7	28	4,3	2,7
Черемха пізня	6	45	45	32,7	14,6
Шовковиця біла	2	8	10	10,3	5,9
Яблуня Надзведського	2	7	7	2,1	2,4
Ялина європейська	2	15	15	5,6	3,5
Ялина колюча	5	7	12	1,6	1,4
Ялівець звичайний	1	15	15	3,3	3,2

На території гуртожитків № 2, №3 і №8 (дослідна ділянка №5) зростає 227 дерев, що представлені 31 деревним видом (дод. В. 1). Із них п'ять хвойних та 26 листяних видів. За кількістю дерев перевага залишається за листяними – 122 дерева листяні (54 %). Під час озеленення території цієї

ділянки також найчастіше використовували тую західну (36% від загальної кількості дерев). За віком і середнім діаметром на висоті 1,3 м найбільшим показником виділяється дуб звичайний. Це зумовлено зростанням на території дослідної ділянки «вікового дуба». Проте за середньою висотою найвищі значення виявилися у сосни звичайної. Домінуючим класом якості визначено «задовільний» з часткою дерев 59%, до класу якості «добрий» віднесено 36%, «незадовільний» – 5% дерев. Такий розподіл імовірно відбувся через відсутність якісного догляду за деревами.

Територія навчальних корпусів №2, №3, №4, №10 НУБіП України (дослідна ділянка №6) налічують 60 деревних видів, з яких 8 хвойних. Загальна кількість становить 849 дерев. Із них 153 це хвойні (18%) та 696 листяні (82%) види (дод. В. 2.). В озелененні цієї дослідної ділянки найпоширенішим деревним видом серед листяних став гіркокаштан звичайний – 27% загальної чисельності дерев, серед хвойних – туя західна (13%). Найстарший за віком – у наявний на ділянці віковий дуб. Найбільший середній діаметр на висоті 1,3 м встановлено у тополі тремтячої, найбільша середня висота – у граба звичайного. Розподіл за якісним станом виявився наступним: клас якості «добрий» – 53%; клас якості «задовільний» – 44%; клас якості «незадовільний» – 3%.

На території навчального корпусу №1 та гуртожитків №1, №9, №10, №11, №12 НУБіП України (дослідна ділянка №7) зростає 61 деревний вид, де 51 листяний та 10 хвойні види. Загальна кількість дерев досить значна – 1005 шт. (дод. В. 3.). Чверть від загальної кількості становлять хвойні (255 шт.) і три чверті – листяні (750 шт.). В озелененні згаданої дослідної ділянки домінуючим деревним видом серед листяних виявилася липа серцелиста, на яку припадає 12% загальної чисельності дерев, серед хвойних – туя західна (19%). За віком найстарший наявний на ділянці віковий дуб. Найбільший середній діаметр на висоті 1,3 м встановлено у тополі тремтячої, найбільша середня висота – в тополі чорної. За якісним станом дерева розподіляються так: клас якості «добрий» – 62%; клас якості «задовільний» –

31%; клас якості «незадовільний» – 7%. При цьому варто зауважити, що під час польових робіт на вказаній ділянці виявлено осередок ураження дерев омелою білою. Уражені дерева зростають в частині ділянки, що межує з іншим землекористувачем – НПП «Голосіївський». На суміжній території парку спостерігається масове ураження дерев омелою білою.

На території найбільшої за площею дослідної ділянки розташовані корпуси № 5, №7, №8, №9, №11, №13, №15, №17 НУБіП України (дослідна ділянка №8), де зростає 962 дерева (дод. В. 4), які представлені 57 деревними видами: 46 листяних та 11 хвойних видів. За кількістю – 682 листяних (71%) та 280 хвойних (27%) дерев. В озелененні ділянки найчастіше використані липа серцелиста (16%) серед листяних та туя західна (16%) серед хвойних. Найбільші середні значення висоти та діаметра на висоті 1,3 м зафіксовано у дерев тополі чорної. За віком найстаріший дуб звичайний. За якісним станом ситуація краща порівняно з рештою ділянок. Дерев класу якості «добрий» досягають 79% від загальної кількості, дерева класу якості «задовільний» – 18% і лише 3% припадає на дерева класу якості «незадовільний».

На території навчального корпусу №12 НУБіП України (дослідна ділянка №4) зростає 45 деревних видів. Із них 41 листяний та чотири хвойних види. У загальній кількості це становить 916 дерев (дод. В. 5). На хвойні припадає 15% від загальної, на листяні – 85%. В озелененні цієї дослідної ділянки серед листяних виділяється клен гостролистий – 12% загальної чисельності дерев, серед хвойних – ялина європейська (13%). Варто зауважити, що найчисленніший із листяних клен американський, хоча в основному переставлений самосійними деревами та групами дерев. Вони створюють захаращеності й підлягають видаленню. Серед дерев найвищі показники середнього діаметра притаманні тополі пірамідальній, середньої висоти – клену цукристому. За якісним станом дерева розподіляються: клас якості «добрий» – 37%; клас якості «задовільний» – 57%; клас якості «незадовільний» – 67%.

2.4.2. Аналіз дослідних даних таксації багатостовбурних дерев

Для дослідження на території було відібрано 75 дерев, із виявленими чотирма стовбурами і більше, в яких вимірювали діаметри на висоті 1,3 м (Миронюк & Свинчук, 2016). Сумарно для 75 дерев нараховано 392 стовбури (дод. Д). Вимірювання модельних дерев здійснювали на шести дослідних ділянках (табл. 2.8).

Таблиця 2.8

Характеристика розподілу дерев на території дослідження

Номер дослідної ділянки	Площа, га	Загальна кількість дерев, шт.	Дерева з-понад трьома стовбурами		Частка дерев з-понад трьома стовбурами, %
			кількість дерев, шт.	кількість стовбурів, шт.	
1	0,939	53	1	6	1,89%
4	6,378	448	1	4	0,22%
5	2,218	224	1	8	0,45%
6	5,935	850	6	34	0,71%
7	7,683	1003	11	56	1,10%
8	13,103	1019	55	284	5,40%

Як встановлено, на озелененій території корпусу № 11 (дослідна ділянка №8) 40% дерев багатостовбурні, та більше 27% дерев з-понад трьома стовбурами.

Середнє значення діаметра 13,7 см. Розподіл дерев за ступенями товщини характеризується значеннями асиметрії та ексцесу, що становлять 1,35 і 2,54 відповідно (рис. 2.2).

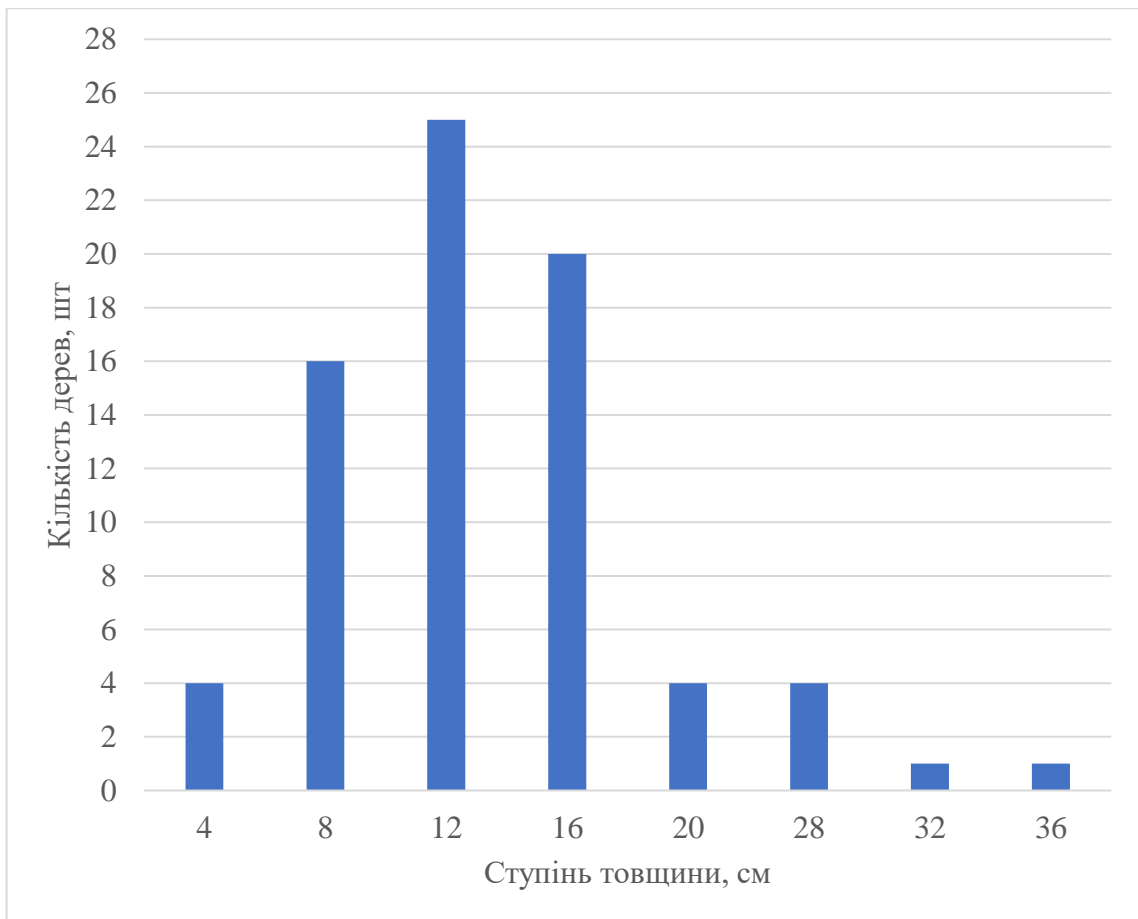


Рис.2.2. Розподіл загальної кількості дерев за ступенями товщини

Мода та медіана середнього значення діаметрів стовбурів відповідають значенням 9,6 см і 12,2 см. Середня кількість стовбурів багатостовбурних дерев дорівнює п'яти.

2.4.3. Порівняння точності висотомірів

Для порівняння точності приладів обмір висот здійснювали чотирма різними висотомірами. Вимірювання висоти ростучих дерев виконували за допомогою механічних (*Блюме-Лейса, Suunto PM 5*) та електронних (*Haglöf EC II-D, TruPulse 360B*) висотомірів тригонометричного принципу дії. Базисні відстані для тригонометричних висотомірів вимірювали за допомогою мірної стрічки *Vectron 24-2-030 30 м×10 мм*. Для кожного окремого дерева здійснювалося три виміри, на основі яких обчислювали середнє значення висоти дерева. Загальна кількість модельних дерев становила 299 шт., які були розподілені за ступенями товщини від 4 до 108 см та за висотами від 2 до 35 м (табл. 2.6).

Розподіл модельних дерев за висотою та діаметром на висоті 1,3 м

Ступені товщини, см	Висота, м																																											
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	31	32	35																	
4	7	23	20	2	1																																							
8		1	16	12		1																																						
12		1	3	5	5	4			1			1																																
16					2	2	3	1	4	1																																		
20						1	2	6	2	4		1	2						1																									
24							1		2	3	1	1	3	1			1	2	1																									
28					2			3	1	1	4	6	2	1	4				2		1																							
32										1	1	1	1	6	5	2	1	2																										
36		1						1		1					4	1	1			3	2																							
40												3	2	1	4	2	3		2	1		1																						
44					1							1	1	2	3		2	2	1	4	1	4				1																		
48												1	1	2	1	2			1	1	1	2																						
52													1	2	1		2	4			1																							
56								1							1	1								1	2																			
60															1	1	1																											
64																1			1																									
72																	1	1																					1					
76																																						1						
80													1			1																												
92																																									1			
96																																												
108																																												

Для цієї вибірки показники асиметрії та ексцесу знаходяться на рівні 0,39 та -0,55 відповідно.

У процесі дослідження за різними способами отримано висоти для 299 модельних дерев (дод. Ж). Спираючись на висновки низки дослідників (Bidolakh et al., 2018, 2019; A. M. Bilous et al., 2021; Williams et al., 1994) про

найвищу точність визначення висоти ростучого дерева ручними лазерними висотомірами та відсутності можливості здійснити зрізування модельних дерев, отримані результати висотоміром-далекоміром *TruPulse 360* у режимі *HD HT* вирішено використовувати як контроль.

Загалом визначення висоти проводили чотирма висотомірами п'ятьма способами для 299 модельних дерев 28 видів.

2.4.4. Визначення балансу площ об'єкта урболісівництва

Для вирішення поставленого завдання вимірювали діаметри стовбурів на висоті 1,3 м і на рівні ґрунту мірною вилкою *Haglöf Mantax Precision Blue 800 мм* у двох взаємно перпендикулярних напрямках та визначали середнє двох вимірювань (Миронюк et al., 2019). У випадку вимірювання діаметра понад 800 мм використовували мірну стрічку *Vectron 24-2-030 30 м×10 мм* для визначення обхвату з подальшим переведенням у діаметр. Польові роботи виконували на території дев'яти облікових ділянок, різної щільності зростання дерев (табл. 2.9).

Таблиця 2.9

Усереднена біометрична характеристика модельних дерев різних видів

Статистичні показники	Гіркокаштан звичайний		Туя західна		Липа серцелиста	
	d _{1,3}	d ₀	d _{1,3}	d ₀	d _{1,3}	d ₀
Середнє арифметичне значення	26,08	35,47	18,93	33,46	29,85	45,78
Середнє квадратичне відхилення	21,8	28,06	11,76	22,56	12,3	21,84
Мінімальне значення	2,3	4,3	1,0	5,0	3,5	4,3
Максимальне значення	80,2	133,7	50,6	105,4	52,5	94,5
Коефіцієнт мінливості, %	83,61	79,11	62,13	67,43	41,19	47,7

Масив даних характеризується відносно високою мінливістю. Це пояснюється тим, що на відміну від суцільно зімкнутих лісових, насадження в урбосередовищі неоднорідні та можуть відповідати різним значенням повноти на території однієї дослідної ділянки.

2.4.5. Характеристика дерев для оцінювання екосистемних послуг за допомогою інструменту i-Tree eco

У результаті збору польових даних на площі 4,36 га отримано зведену характеристику та картографічні матеріали (дод. Б). Зокрема дослідний полігон налічує 479 модельних дерев (рис. 2.3). Більше половини з них представлені туєю західною (24,6%), гіркокаштаном звичайним (15,7%) і липою дрібнолистою (15,4%). Деревне покриття становить 33,5 %. Середня щільність зростання дерев – 110 шт.·га⁻¹.

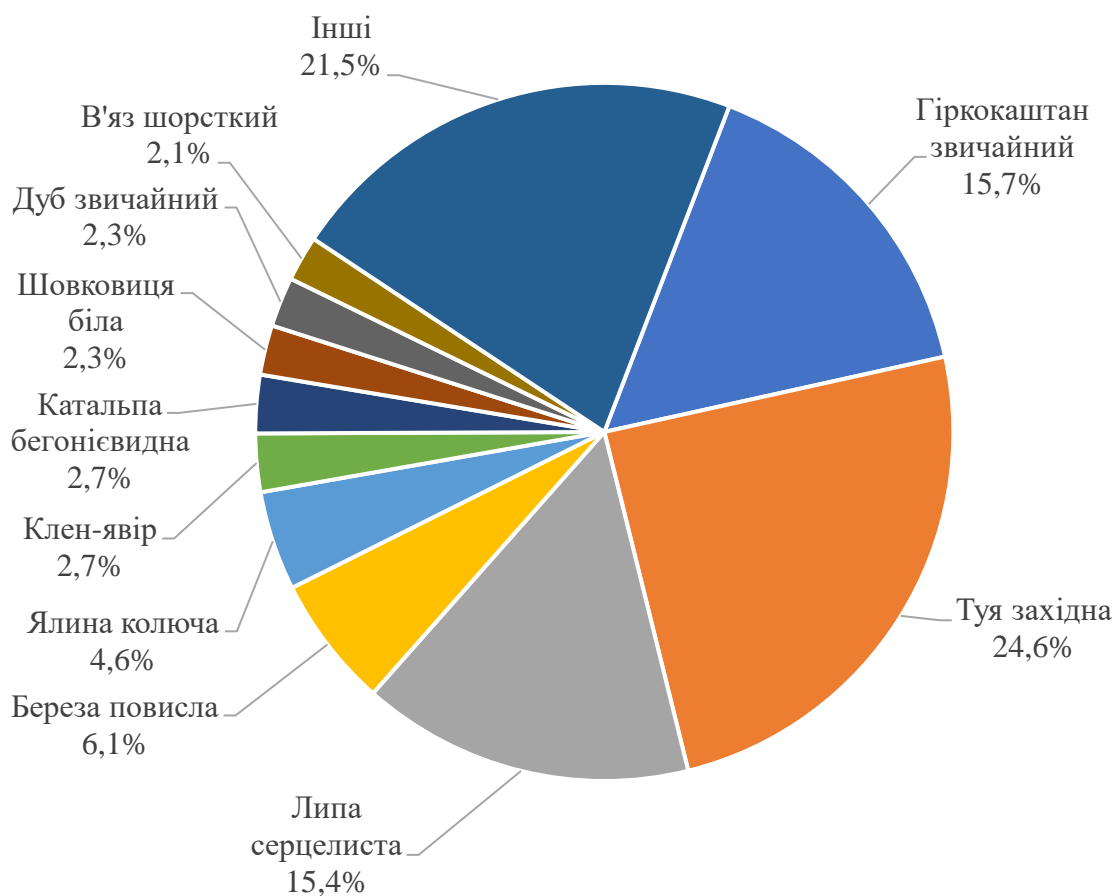


Рис. 2.3. Структура видового складу дослідного полігона

Насадження складаються із сукупності місцевих та екзотичних деревних видів. Таким чином, озеленені території часто вирізняються більшим різноманіттям, ніж навколишні місцеві ландшафти. Розширення різноманітності дерев здатне мінімізувати загальний вплив чи ушкодження комахами або хворобами, специфічними для окремих видів. Разом із тим,

підвищення різноманітності також може становити ризики для місцевої флори і фауни, якщо деякі з екзотичних видів виявляться інвазійними. За одержаними даними здійснено розподіл за походженням деревних видів (рис. 2.4).

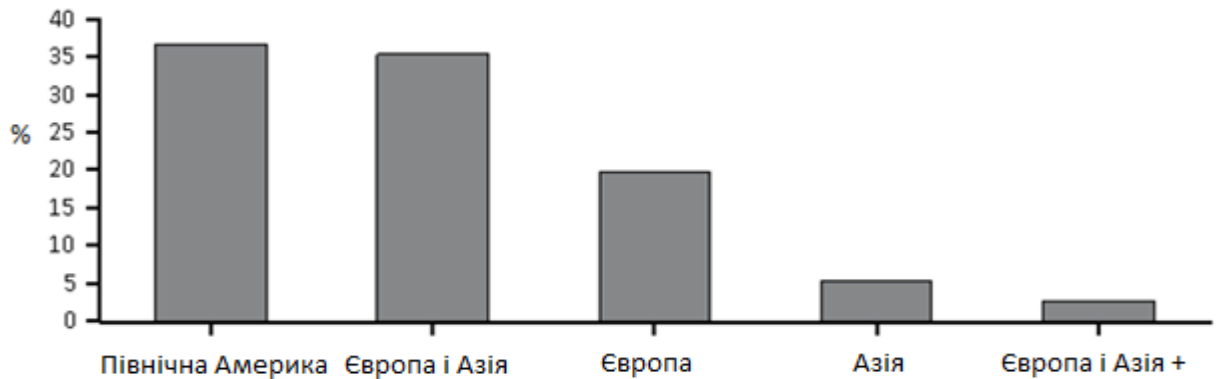


Рис. 2.4. Розподіл дерев за ареалом походження

На території дослідного полігона 20% дерев це види, що походять з Європи. Значна кількість дерев є інтродуцентами з Північної Америки (37%).

Висновки до розділу 2

1. Застосування сучасного набору лісотаксаційного обладнання та матеріалів дистанційного зондування Землі для удосконаленої методики інвентаризації об'єктів урболісівництва суттєво спрощують і пришвидшують як збір польових даних, так і подальшу їх камеральну обробку та точність отримуваних результатів.

2. Загальна площа облікових ділянок становить 38,2 га і налічує 4236 шт. дерев, що представлені 111 видами зі значним переважанням листяних. Стан насаджень урбосередовища НУБіП України визнано задовільним, що вказує на необхідність посилення заходів стосовно догляду за деревами.

3. Вікова структура деревних насаджень характеризується переважанням молодих дерев віком до 20 років та низькою часткою дерев понад 90 років, що стало наслідком періодичності висаджування,

реконструкцією насаджень, прибирання дерев незадовільного стану і таких, що вичерпали свій термін експлуатації.

4. Оцінювання підтримувальних ЕП дерев на основі приросту фітомаси кожного дерева дозволяє отримати загальні показники як у натуральних, так і вартісних одиницях.

5. Інструментарій i-Tree есо дає можливість оцінити об'єкти урболісівництва для широкого кола зацікавлених сторін. Проте потреба у вимірюванні великої кількості таксаційних показників робить його менш ефективним для інвентаризації об'єктів урболісівництва порівняно із діючою методикою. Окрім цього необхідність відправлення даних на обробку на сторонні сервери перешкоджає встановленню точності оцінок інструментарію внаслідок неможливості верифікації використаних моделей для розрахунків.

Матеріали розділу опубліковано у працях (Білоус et al., 2023, 2024; Білоус & Макаревич, 2021; Макаревич, 2022b, 2023a, 2023b; Макаревич & Білоус, 2024)

РОЗДІЛ 3

ПРИКЛАДНІ РІШЕННЯ ДЛЯ ІНВЕНТАРИЗАЦІЇ ДЕРЕВ УРБОСЕРЕДОВИЩА

У процесі інвентаризації об'єктів урболісівництва для деревних рослин визначають деревний вид і такі таксаційні показники, як вік, діаметр на висоті 1,3 м, висота, кількість дерев (для рядових і групових посадок), відносна повнота (для ділянок з лісовим типом зростання дерев) та якісний стан (Інструкція з інвентаризації зелених насаджень у населених пунктах України, 2001). Якщо методика визначення якісного стану прописана досить чітко, то в (Інструкції з інвентаризації зелених насаджень у населених пунктах України, 2001), навпаки, відсутні методики визначення решти таксаційних показників дерев, навіть немає посилань на інші джерела, яким саме чином слід визначати до прикладу діаметр чи висоту дерев.

3.1. Визначення діаметра дерева

Під час інвентаризації об'єктів урболісівництва у виконавців виникає проблема обліку дерев, що мають декілька стовбурів. Вони не відносяться до категорії групових посадок, оскільки біологічно вважаються одним деревом зі спільною кореневою системою (Vilous et al., 2024). Можливим рішенням для інвентаризації таких дерев стає використання методики обліку групових посадок з певними змінами. По-перше, на картографічних матеріалах такі дерева слід маркувати як окремі, тобто присвоювати дереву номер, а не літеру, як у випадку з груповими посадками, що і буде вирізняти їх серед інших. По-друге, зазначати діаметр як середнє значення діаметрів всіх стовбурів дерева. По-третє у відповідній колонці вказати кількість стовбурів як кількість дерев у групі, що виокремлюватиме такі дерева з решти поодинокі ростучих. У цьому випадку розрахунок середнього діаметра буде виконуватися за формулою 3.1.

$$\bar{D} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_i, \quad (3.1)$$

де i – порядковий номер стовбура; d_i – діаметр i -того дерева; n – кількість стовбурів дерева.

Цей підхід забезпечує високу точність визначення середнього діаметра дерева із багатьма стовбурами, але має важливий недолік – збільшені трудовитрати та витрати часу на таксацію одного дерева. У випадку наявності трьох стовбурів витрати праці та часу збільшуються майже в три рази, що не виявляє критичного впливу при таксації облікової ділянки. Проте коли необхідно здійснювати вимірювання для семи-восьми стовбурів одного дерева, то збільшення трудовитрат і витрат часу відчуте. Саме тому альтернативою визначення середнього діаметра може стати використання вибіркового вимірювання окремих стовбурів дерев з-понад трьома стовбурами. Для визначення середнього діаметра таких дерев не потрібно вимірювати всі стовбури, а лише кілька, відібраних на основі окомірної таксації. Для оцінки точності цього підходу проведено дослідження експериментальним шляхом.

У ході експерименту перевірена можливість визначення середнього діаметра багатостовбурного дерева на основі вимірювання різної кількості стовбурів, відібраних випадковим чином. Зокрема розглянуто можливість використання для цих цілей даних обміру випадково визначених одного, двох і трьох стовбурів.

Виконана оцінка можливості використання одного випадково відібраного стовбура засвідчила, що відносна помилка визначення середнього діаметра змінюється в діапазоні від 9,8% до 67,1% (дод. Д.2). Результат розрахунків для двох відібраних випадковим чином стовбурів демонструє зменшення граничних значень та розмаху інтервалу відносних помилок (дод. Д.3). Діапазон набуває значень від 3,6% до 26,4%. Максимальне значення відносної помилки визначення середнього діаметра на основі обміру двох відібраних випадковим чином стовбурів нижче за

середнє значення відносної помилки при відборі одного стовбура (A. Vilous et al., 2024).

Отримані значення для трьох відібраних випадковим чином стовбурів демонструють, що відносна помилка визначення середнього діаметра варіює в діапазоні від 2,0% до 22,4% (дод. Д.4). Різниця відносних помилок між відбором двох і трьох стовбурів вже не настільки велика порівняно з відбором одного стовбура, проте спостерігається позитивна динаміка в бік зменшення розмаху та зниження значень помилок.

Відносна помилка визначення середнього діаметра стовбура дерева, де налічується більше трьох стовбурів, розрахована для кожного дерева окремо, не дає розуміння оцінки точності розглянутих способів визначення середнього діаметра. Саме тому наступний крок – прийняття відносної помилки як випадкове значення в сукупності всіх визначених відносних помилок для кожного способу окремо. Показником точності визначення середнього діаметра стовбура дерева слугує середнє арифметичне значення відносних помилок для всіх дерев, про що свідчать отримані розрахунки (табл. 3.1).

Таблиця 3.1

Результати статистичної обробки отриманих значень відносної помилки визначення середнього діаметра на основі випадкового відбору

Статистичні показники	Кількість стовбурів, відібраних випадковим чином		
	один стовбур	два стовбури	три стовбури
Середня відносна помилка	28,37	10,17	7,29
Стандарте відхилення	5,36	3,21	2,72
Стандартна помилка	0,62	0,37	0,31
Довірчий інтервал	1,24	0,74	0,63

Середня точність при визначенні середнього діаметра на основі вимірювання одного, відібраного випадковим чином, стовбура знаходиться на рівні $28,37\% \pm 1,24\%$. При визначенні діаметрів на основі двох стовбурів одержано $10,17\% \pm 0,74$, для трьох стовбурів – $7,29\% \pm 0,63\%$.

Окрім дослідження можливості встановлення середнього діаметра стовбура дерева з-понад трьома стовбурами, на основі обміру одного, двох чи трьох відібраних випадковим чином стовбурів, також розглядалася можливість встановлення середнього діаметра як середнє арифметичне між діаметром стовбурів у результаті цільового відбору. Під цільовим відбором розуміється вимірювання конкретно встановлених стовбурів. Перші два варіанти передбачали обмір найтоншого і найтовстішого та найтоншого, наближеного до середнього і найтовстішого стовбурів дерева. Ідентифікація таких стовбурів відбувається на основі окомірного оцінювання. Розгляд третього варіанта базується на вказівках робочої групи «European Consulting Standards in Treework» та полягає у визначенні середнього діаметра на основі обміру чотирьох найбільших стовбурів (*European Tree Assessment Standard (First Draft)*, 2023).

Перший спосіб, в якому визначення середнього діаметра дерева з-понад трьома стовбурами на основі діаметрів найтоншого і найтовщого стовбурів розраховується за формулою 3.2.

$$\bar{D} = \frac{d_{min} + d_{max}}{2}, \quad (3.2)$$

де d_{min} – діаметр найтоншого стовбура; d_{max} – діаметр найтовщого дерева.

Другий спосіб принципово не відрізняється. Лише для встановлення середнього діаметра стовбура використовуються дані не тільки найтовщого та найтоншого, а й наближеного до середнього стовбурів. Розрахунок виконується за формулою 3.3.

$$\bar{D} = \frac{d_{min} + d_{mn} + d_{max}}{3}, \quad (3.3)$$

де d_{min} – діаметр найтоншого стовбура; d_{mn} – діаметр стовбура, наближеного до середнього; d_{max} – діаметр найтовщого стовбура;

Дані розрахунків за вищевказаними способами різняться між собою (дод. Д. 5).

Після розрахунку значень середнього діаметра проводиться порівняння отриманих результатів з істинним значенням. При визначенні середнього діаметра на основі обміру найтоншого та найтовщого стовбурів діапазон відхилень набуває значень від -12% до 30%, за другого способу – від -12% до 20%. Статистична обробка цих способів дещо відрізняється від варіантів з відбором стовбурів випадковим чином. Оскільки для кожного дерева визначення відбувалося лише за одним показником середнього діаметра за кожним із способів, тому аналіз проводився за формулами 2.2 – 2.5 для всього масиву даних (табл. 3.2).

Таблиця 3.2

Результати статистичної обробки отриманих значень середнього діаметра за результатами цільового відбору стовбурів

Статистичні показники	Спосіб розрахунку середнього діаметра		
	min/max	min/mn/ max	чотири найбільших
Стандартне відхилення	0,9618	0,7780	1,4056
Стандартна помилка, см	0,1111	0,0898	0,1623
Довірчий інтервал, см	0,2221	0,1797	0,3248
Відносна помилка, %	1,6	1,3	2,4

За результатами статистичної обробки вищевказані способи визначення виділяються високою точністю.

Оскільки методи оцінювання точності визначення середнього діаметра з-понад трьома стовбурами на основі цільового відбору дещо відрізняються, порівняння та інтерпретацію результатів слід здійснити за допомогою графіка (рис. 3.1).

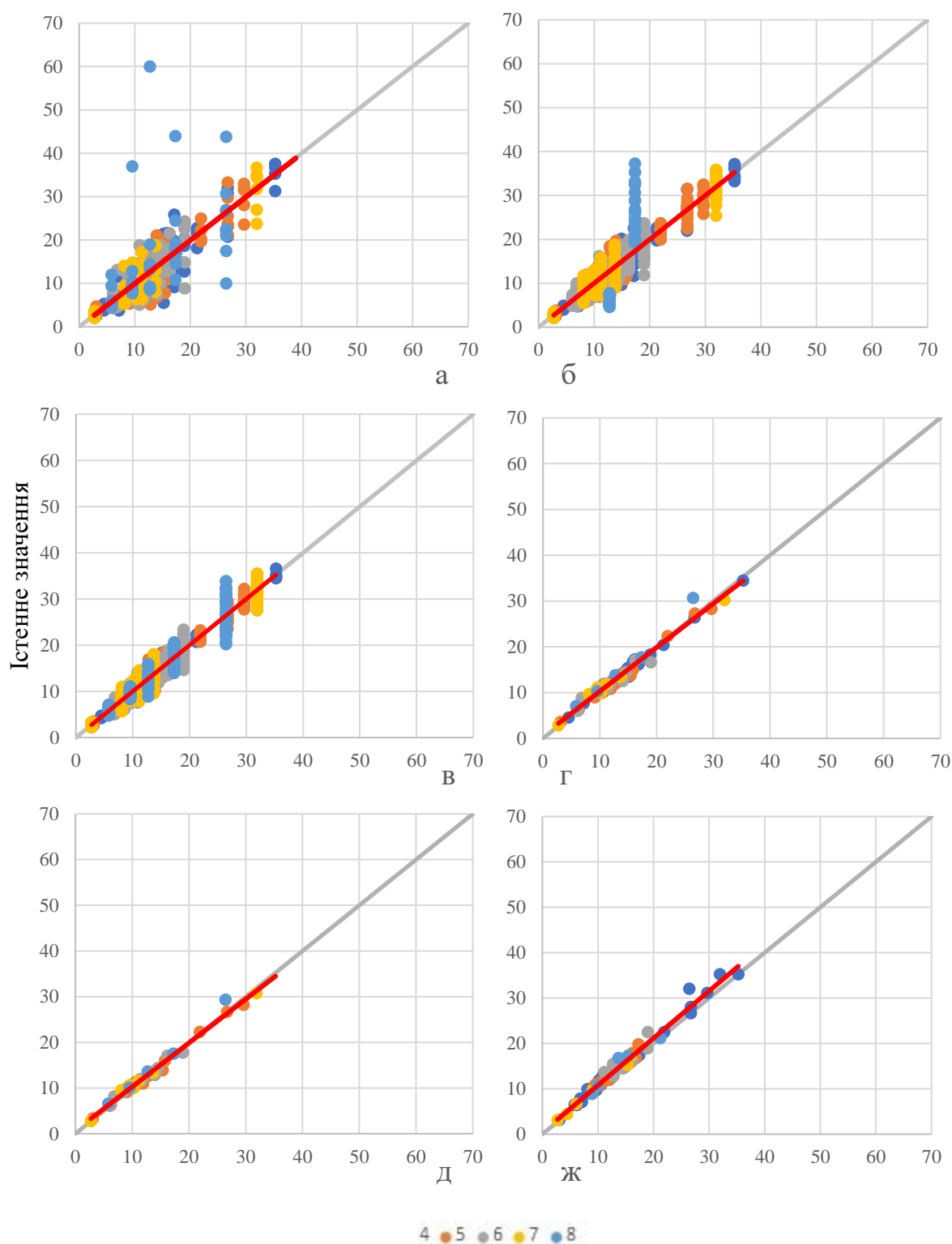


Рис. 3.1. Графік розподілу помилок визначення середнього діаметра на основі (а, б, в) випадкового і (г, д, ж) цільового відбору

Для варіанта вимірювання одного випадкового стовбура (а) спостерігається найбільша дисперсія помилок, при відборі двох і трьох випадкових стовбурів (б, в) – дисперсія помітно зменшується. Цільовий

відбір характеризується наближеними результатами до істинного значення, проте для результатів вимірювання чотирьох найбільших стовбурів (ж) прослідковується завищення отриманих значень.

Найбільші значення помилок визначення середнього діаметра дерев із понад трьома стовбурами показує спосіб обміру одного, відібраного випадковим чином, стовбура. Найменша відносна помилка спостерігається за способів цільового відбору стовбурів, тому для глибшого порівняння проведено визначення середньоквадратичної помилки (RMSE) (формула 3.4) та її відносного значення (RMSE(%)) (формула 3.5).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{X})^2}{n}}, \quad (3.4)$$

де i – порядковий номер дерева; x_i – розраховане значення; \bar{X} – середнє (фактичне) значення вибірки; n – кількість спостережень.

$$RMSE(\%) = \frac{RMSE}{\mu} \times 100\%, \quad (3.5)$$

де $RMSE$ – середньоквадратична помилка; μ – середнє значення за вибіркою.

За результатами розрахунків отримано дані: для способу визначення середнього діаметра на основі значень найтоншого та найтовщого стовбурів середньоквадратична помилка становить 0,9553 (7%); для способу визначення середнього діаметра на основі обміру найтоншого, наближеного до середнього і найтовщого стовбурів середньоквадратична помилка дорівнює 0,7728 (5,7%); для способу визначення середнього діаметра на основі значень чотирьох найбільших стовбурів середньоквадратична помилка виявилася найбільшою 1,3962 (10,3%). Тобто, для визначення середнього діаметра дерев з-понад трьома стовбурами точніший спосіб на основі обміру найтоншого, наближеного до середнього і найтовщого стовбурів. Для способу на основі обміру чотирьох найбільших стовбурів, для

дерев із понад чотирма стовбурами, спостерігається систематичне завищення отриманих результатів.

Варто вказати на ще один вагомий аргумент – оцінювання затрат часу (табл. 3.3). Економія часу при використанні способу на основі обміру найтоншого, наближеного до середнього і найтовшого стовбурів порівняно з суцільним переліком досягає 25% і більше.

Таблиця 3.3

Порівняння результатів вимірювання середнього діаметра багатостовбурних дерев

№ з.п	Деревний вид	К-сть стовбурів	Вимірювання всіх стовбурів		Вимірювання запропонованим способом		Відхилення, %	
			середній діаметр, см	час, с	середній діаметр, см	час, с	середній діаметр	час
1	Абрикос звичайний	11	8,7	330	8,7	180	0,0%	-45,5%
2	Верба вавилонська	8	9,6	240	10,0	90	4,9%	-62,5%
3	Верба плакуча	8	5,8	240	6,6	90	13,6%	-62,5%
4	Вишня японська	7	2,7	210	2,8	90	2,6%	-57,1%
5	Гіркокаштан звичайний	4	26,7	120	25,4	90	-5,0%	-25,0%
6	Горіх сірий	5	3,1	150	3,4	90	10,1%	-40,0%
7	Граб звичайний	4	17,1	120	18,1	90	5,7%	-25,0%
8	Золотий дощ звичайний	17	7,7	510	8,3	270	7,1%	-47,1%
9	Катальпа гібридна	4	7,2	120	7,6	90	6,3%	-25,0%
10	Клен гостролистий	7	31,9	210	30,8	90	-3,7%	-57,1%
11	Клен несправжньо-платановий	14	28,0	420	27,9	270	-0,2%	-35,7%
12	Клен цукристий	13	28,0	390	28,8	180	2,7%	-53,8%
13	Клен ясенелистий	8	17,3	240	17,5	90	1,3%	-62,5%
14	Туя західна	263	13,1	7890	13,1	4680	0,0%	-40,7%
15	Черешня домашня	6	6,8	180	8,2	90	19,6%	-50,0%
16	Шовковиця біла	13	9,2	390	9,5	270	2,4%	-30,8%

У проведеному дослідженні рівень економії часу становить 42,6% (А. Bilous et al., 2024).

3.2. Визначення висоти дерева

Вимірювання висоти ростучих дерев виконували за допомогою механічних (Блюме-Лейса, *Suunto PM 5*) та електронних (*Haglöf EC II-D*) висотомірів тригонометричного принципу дії відповідно до інструкції з використання (рис. 3.2).



Рис. 3.2. Висотоміри тригонометричного принципу дії

Крім того, вимірювання виконували лазерним висотоміром-далекоміром *TruPulse 360B* у базовій комплектації. Зважаючи на мету дослідження та переважно рівнинні умови місцевості, прийняли рішення застосувати два режими вимірювання **HD HT** (**H**orizontal **D**istance **H**eight) та **VD** (**V**ertical **D**istance) (Laser Technology Inc, 2017). В основі режиму **HD HT**

використовується тригонометричний принцип дії, побудований на властивостях тангенса прямокутного трикутника і вимагає три візування, тоді як режим *VD* ґрунтується на використанні властивостей синуса прямокутного трикутника і потребує здійснення двох замірів.

Окрім типу та принципу роботи висотоміри значною мірою відрізняються вартістю. На противагу дороговартісному лазерному висотоміру-далекоміру *TruPulse 360B*, вартість якого перебуває в приблизному діапазоні від 2780\$ до 3200\$ за базовий набір, відомі дешевші альтернативи *Haglöf EC II-D* (240\$) та *Suunto PM 5* (150-220\$). Виняток становить висотомір Блюме-Лейса, який знято з виробництва, проте за наявності може використовуватися.

Результати статистичного оброблення даних дають можливість оцінити точність визначення висоти різними висотомірами, що використовували в цьому дослідженні (табл. 3.4).

Таблиця 3.4

Результати статистичного оброблення отриманих значень висоти дерев

Статистичні показники	<i>Suunto PM-5</i>	<i>Haglöf EC II-D</i>	<i>TruPulse 360B (VD)</i>	<i>Блюме-Лейса</i>	<i>TruPulse 360B (HD HT)</i> (контроль)
Середнє арифметичне значення, м	11,6	11,5	10,9	11,6	11,5
Середнє квадратичне відхилення, м	6,84	6,87	6,31	6,88	6,85
Стандартна помилка	0,40	0,40	0,37	0,40	0,40
Коефіцієнт мінливості, %	59,21	59,51	58,08	59,21	59,31
Показник точності дослідження, %	3,42	3,44	3,36	3,42	3,43
Систематична помилка, м	0,011	0,001	-0,673	0,077	-
Середня випадкова помилка вимірювань, м	0,45	0,48	1,00	0,53	-

Найбільша похибка вимірювання (систематична помилка) 0,67 м відзначена для висотоміра *TruPulse 360B (VD)*, найнижча – 0,001 м для *Haglöf EC II-D*. Середня випадкова помилка найбільшою (1,00 м) виявилася

для *TruPulse 360B (VD)*, найнижчою – 0,45 м для *Suunto PM-5*. Графічний аналіз значень абсолютних відхилень характеризує прецизійність вимірів тригонометричними висотомірами (рис. 3.3).

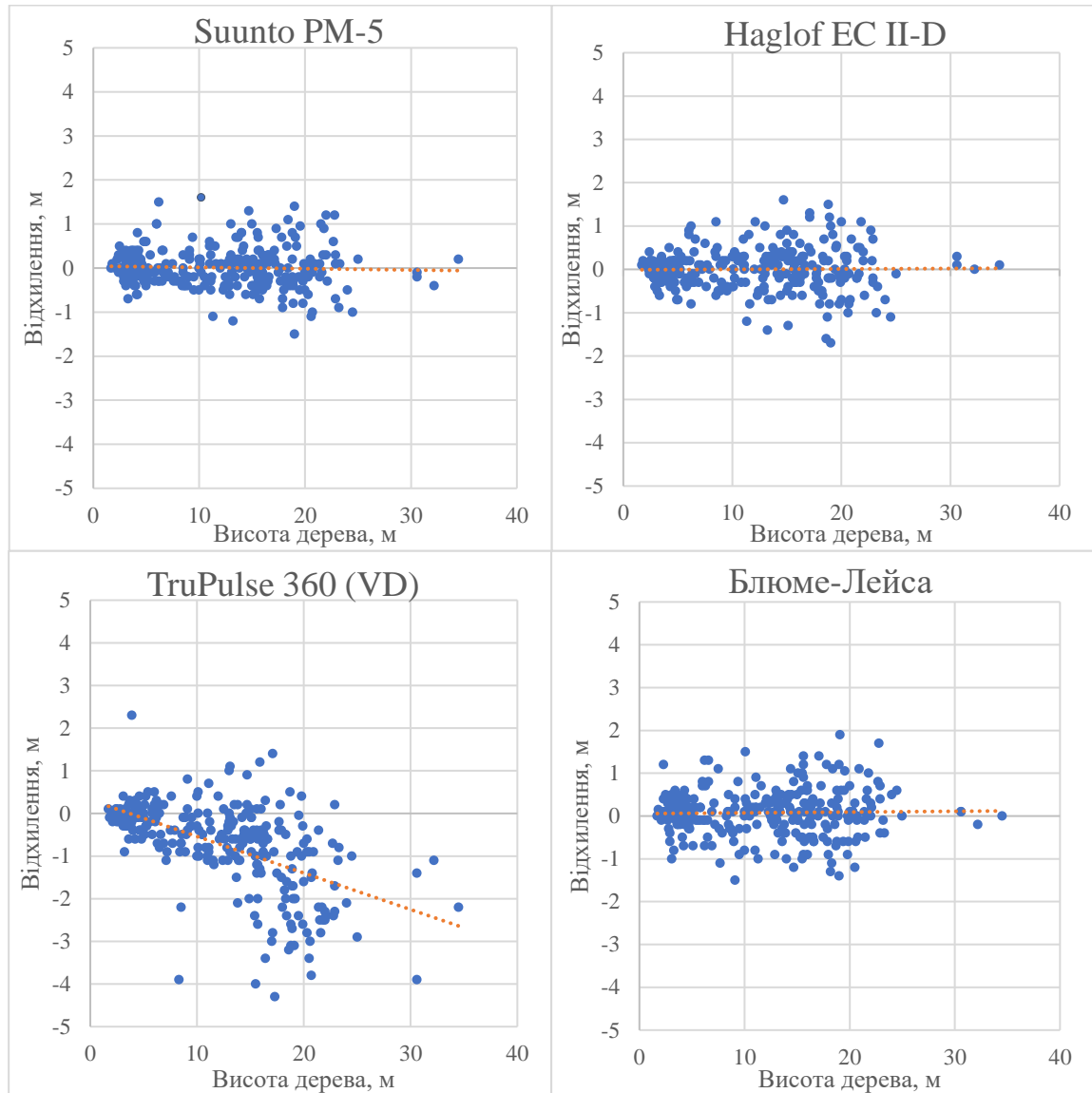


Рис. 3.3 Відхилення результатів вимірювання висоти дерев різними висотомірами

Стосовно вимірювання висоти висотоміром-далекоміром *TruPulse 360B* (режим роботи *VD*), існує проблема заниження результатів вимірювання. Якщо у показників дерев висотою до 10 м спостерігається незначне відхилення в бік зменшення, то при збільшенні висоти відбувається різке заниження значень порівняно з контрольними. Цей режим вимірювання потребує встановлення як кута, так і дистанції до точки візування при

кожному з двох вимірів. Трав'яна рослинність, листя, хвоя, бічні гілки та гілки сусідніх дерев можуть створювати перешкоди лазерові приладу точно визначити дистанцію до точки візування. Сюди можна також віднести відсутність чітко вираженої верхівки, або зміщення найвищої точки дерева відносно центру крони і стовбура. Неправильне визначення дистанції до точки візування призводить до помилкових отриманих результатів. Така ситуація спостерігається для старших дерев, а відповідно і вищих, із шароподібною розкидистою кроною (Макаревич & Білоус, 2024).

Принциповою різницею використання механічних висотомірів слід вказати сувору фіксацію визначених виробником базисних відстаней. Для *Suunto PM 5* вони становлять 15 та 20 м і характеризують прилад непретиційністю показників висот вимірюваних дерев. Висотоміру *Блюме-Лейса* притаманний дещо ширший діапазон базисних відстаней, зокрема 15, 20, 30 і 40 м. Однак відносно велика ціна поділки висотоміра *Блюме-Лейса* ускладнює зчитування показників висоти дерев. На відміну від механічних, електронні висотоміри мають перевагу завдяки можливості довільної зміни базисної відстані. Зокрема *Haglöf EC II-D* надає можливість встановлювати базисну відстань з ціною поділки в один метр у ручному режимі, що підвищує точність вимірювань. Збільшення базисної відстані для *Haglöf EC II-D* може призводити до погіршення видимості верхівки дерева та збільшення витрат часу на пошук задовільного місця для візування. Проблеми із візуванням на верхівку дерева частіше виникають при таксації щільних групових та рядових посадок або за наявності щільної забудови (Макаревич & Білоус, 2024).

Беручи до уваги проведені раніше дослідження науковою спільнотою (Bidolakh et al., 2019; A. M. Vilous et al., 2021; Jurjević et al., 2020; Stereńczak et al., 2019), підтверджено, що висотоміри тригонометричного принципу дії дають можливість визначати висоту дерев в урбанізованому середовищі з достатньою точністю отриманих результатів. Висотоміри, що для визначення висоти використовують властивості прямокутних трикутників (наприклад

TruPulse 360B у режимі роботи *VD*), не рекомендовано використовувати за потреби точної таксації дерев, адже зі збільшенням висоти дерев спостерігається заниження результатів вимірювання.

Як зазначено (Stereńczak et al., 2019), ухил місцевості також впливає на точність вимірювання висотомірів. Однак у міських умовах у переважній більшості випадків умови вимірювання на місцевості дозволяють розміститися таксатору на рівні росту дерева для здійснення облікових робіт.

Окремо слід розглянути вимірювання висоти кронуваних дерев під час облікових робіт щодо об'єктів урболісівництва. Так, досить часто щорічне кронування дерев призводить до неактуальності даних про виміряну висоту дерев під час облікових робіт, отриманих на основі вимірювання фактичної висоти дерев з урахуванням порослі. Зважаючи на це, варто робити примітки про стан кронуваного дерева і вимірювання висоти з урахуванням порослі або у стані після обрізування, щоб уникнути помилок у інтерпретації даних про висоту дерев.

Серед іншого, ще однією нестандартною ситуацією, яка впливає на точність вимірювання висоти, визнано нахил дерева. Зазвичай дерева зростають вертикально і їхня висота та довжина мають тотожні значення, проте не для дерев із нахилом. У такому випадку метод вимірювання довжини зрубаного дерева (як істинне значення) (Vilous et al., 2021; Stereńczak et al., 2019) не надаватиме уявлення про висоту дерева, тобто найвищу точку порівняно з найнижчою. Рішення цієї проблеми знайшлося в дослідженні (Jurjević et al., 2020) під час порівняння класичних висотомірів з даними дистанційного зондування Землі. Методика визначення висоти нахилених дерев полягає в розміщенні таксатора перпендикулярно до лінії нахилу рівновіддалено від найнижчої та найвищої точок дерева (Макаревич і Білоус, 2024).

Звідси, аналізуючи наведене вище можна стверджувати, що висотоміри, які працюють за принципом властивостей синуса прямокутного трикутника (наприклад *TruPulse 360B* в режимі *VD*), в умовах урбанізованого

середовища показують заниження висоти дерев на $5,8 \pm 8,7\%$, що перешкоджає точному вимірюванню висоти дерев. При цьому вимірювання висоти дерев для потреб інвентаризації об'єктів урболісівництва досягається із застосуванням усіх використаних у дослідженні висотомірів, зокрема відносно недорогого, доступного для придбання широкому колу користувачів і простого у використанні висотоміра *Suunto PM 5*, який за результатами вимірювання не поступається перед дороговартісними лазерними висотомірами-далекомірами (Макаревич і Білоус, 2024).

3.3. Баланс площі окремих частин об'єкта інвентаризації

Після проведення польових і камеральних робіт фінальним результатом інвентаризації стає паспорт об'єкта урболісівництва, до якого додають інвентаризаційний план та робочий щоденник обліку зелених насаджень (Інструкція з інвентаризації зелених насаджень у населених пунктах України, 2001). З оформленням щоденника питань не виникає, адже наповнення документа відбувається під час проведення польових робіт. Так само створення плану здійснюють на основі скоригованого графічного матеріалу з повною ситуацією і записів, зроблених на абрисі, у робочому щоденнику, даних геометричної, інструментальної зйомки та інших матеріалів, отриманих у підготовчий до інвентаризації період. Після виготовлення інвентаризаційного плану об'єкта зеленого господарства проводиться обчислення його площі та ситуації (Інструкція з інвентаризації зелених насаджень у населених пунктах України, 2001). Паспорт об'єкта благоустрою зеленого господарства складається на основі проведеного обліку та заповнюється після виконання всіх графічних і обчислювальних робіт.

На цьому етапі виникає колізія необхідних та наявних даних, зібраних під час польових робіт. Якщо основні дані (площа, протяжність та кількість) для внутрішньої ситуації (доріжки, майданчики, будівлі, споруди і т.п.) мають чітко визначені границі та виміряні в процесі геодезичних робіт показники, то для біологічних об'єктів немає чітких визначень меж. Для

квітників і газонів обліковою мірою є площа, тоді як для дерев визначають кількісні показники. Однак дерево також має деяку площу і у випадках зростання дерев на території під газоном чи квітником або іншим об'єктом виникатимуть накладки в балансі площ. Це не припустимо, адже згідно з інструкцією різниця суми площ окремих об'єктів до загальної площі не повинна перебільшувати 0,1%.

Для наочності варто розглянути два випадки зростання дерев на території інших об'єктів зеленого господарства та благоустрою території. За нормами навколо стовбурів дерев, що оточені доріжками чи майданчиками з твердим покриттям, слід залишати лунки (*Правила утримання зелених насаджень у населених пунктах України, 2006*). У такому випадку доцільно за площу дерева приймати площу таких лунок, що не спричинить значного збільшення витрат часу, адже такі лунки, як правило, мають правильну геометричну форму та однакові розміри.

Іншим випадком виділяється зростання дерев на території квітників чи газонів, вростання крон сусідніх дерев, розміщення нижчих рослин під кроною високих дерев. Серед виробників зустрічається варіант прийняття площі проєкції крони як площу дерева (рис. 3.4). Проте визначення площі проєкції крони потребує додаткових витрат часу, що не сприяє зменшенню вартості робіт.



Рис. 3.4. Насадження території корпусу №2

На представленому рисунку окрім позначення внутрішньої ситуації нанесено площу проєкції крони кожного дерева окремо. Цей приклад ілюструє накладання площі сусідніх елементів, або зниження площі елемента, розміщеного під кроною дерева, при зведенні балансу площі (табл. 3.4). У разі пошкодження елементів із заниженою площею сума відшкодування буде розраховуватися на основі даних із паспорта об'єкта благоустрою зеленого господарства, адже класифікація території відбувається в процесі інвентаризації зелених насаджень.

Таблиця 3.4

Баланс площі території корпусу №2

№ з.п.	Перелік основних показників	Основні дані		
		площа, м ²	погонні метри	одиниць
1	Загальна площа об'єкта	11702		
2	Площа під зеленим насадженням, з неї:	10316,1		
2.1	під деревами	4907,9		185
2.2	під кущами	42,5		85
2.3	під живоплотами	100,4	82	2
2.4	під квітниками у т. ч. комбінованими	349,9		10
2.5	під газонами у т. ч. : звичайними,	4915,4		2
3	Піж дорогами, алеями, майданчиками з них:	4595,6		6
3.1	з асфальтовим покриттям	3536,7		1
3.2	з гранітним покриттям	250,3		3
3.3	з гранітним відсівом	-		-
3.4	з плитковим покриттям (ФЕМ)	808,6		1
4	Під будівлями	1550		1
5	Під спорудами	96,3		4

У наведеному прикладі частка площі під доріжками становить 39,3%. Під будівлями знаходиться 13,2% території. Насадження в цілому покривають 88,2% території, зокрема сума площ проєкції крони перекриває 41,9%. Сума площ окремих структурних елементів досягає 16558,0 м² і перевищує загальну площу території на 29,3%, що згідно з чинною нормативно-правовою базою неприпустимо. За подібний приклад слугує територія корпусу №1 (рис. 3.5).

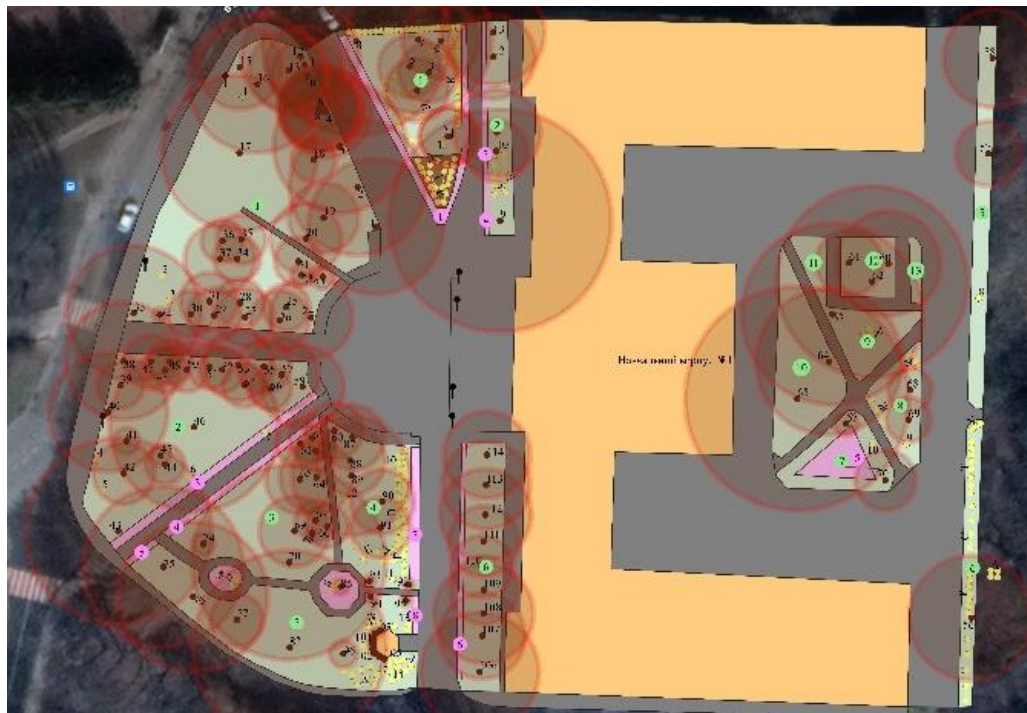


Рис.3.5. Насадження території корпусу №1

Загальна площа території корпусу №1 становить 13860 м², сумарна площа квітників і газонів – 4452 м² (32,1%). Сума площ проєкції крон дерев відповідає значенню 4532 м² (32,7%). На будівлі та доріжки припадає 3772 м² (27,2%) та 5094 м² (36,8%) відповідно. Сума площ окремих складових досягає 17850 м² та перевищує загальну площу території на 28,8%. Ще критичніше ситуація виглядає у випадку відсутності будівель на території (рис. 3.6).

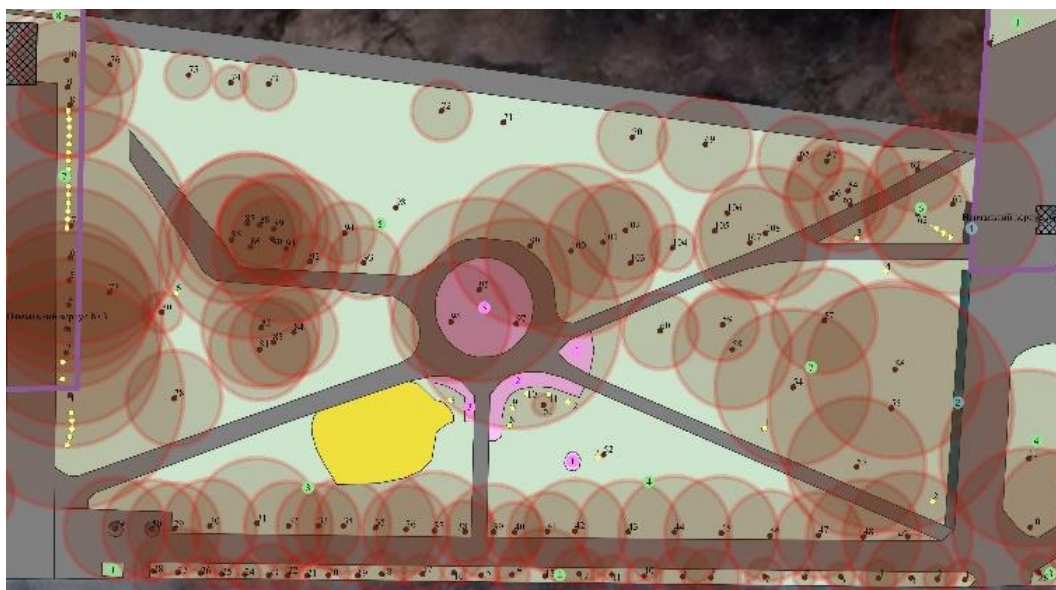


Рис.3.6. Насадження території скверу «Ювілейний»

Загальна площа проєкцій крон відповідає значенню 2186 м², при загальній площі 5298, м². Доріжки розміщені на площі 1123 м², за сумарної площі решти компонентів 4175 м². Отримане значення суми площ окремих складових досягає 7484 м² і перевищує площу території на 41,2% за рахунок відсутності будівель, що переважно становлять відчутну частку в балансі площі.

Інший варіант, за якого площа дерева прирівнюється до нуля і не виключається з площі газону чи квітника, зумовлює перевитрати на догляд через завищені площі інших об'єктів (газонів, квітників). На нашу думку, оптимальним варіантом є прийняття площі поперечного перерізу стовбура дерева на рівні ґрунту як площу дерева. Такий підхід вирішить вищевказані проблеми, а також задовільнить необхідну точність балансу площ.

Точне визначення площі поперечного перерізу, за формулою Симпсона (Миронюк et al., 2019), неможливе без зрізування дерева. В таксації, для спрощення розрахунків, стовбур дерева прирівнюють до правильних тіл обертання. Це дозволяє знаходити площу поперечного перерізу за формулою (3.6), як площу круга або еліпса.

$$g = \frac{\pi}{4} \times d^2, \quad (3.6)$$

де d – діаметр круга.

Для задоволення потреби визначення площі поперечного перерізу стовбура на рівні ґрунту формула (3.7) набуває наступного вигляду:

$$g = \frac{\pi}{4} \times d_0^2, \quad (3.7)$$

де d_0 – діаметр стовбура дерева на рівні ґрунту.

Під час польових робіт збираються дані лише про діаметр дерева на висоті 1,3 м, тоді як додаткові виміри діаметра на рівні поверхні ґрунту не передбачені та збільшать витрати часу на інвентаризацію. Саме тому варто

розглянути можливість отримання значення діаметра стовбура на рівні ґрунту, використовуючи діаметр на висоті 1,3. На даний час в Україні розроблено лише нормативи для визначення діаметра на висоті 1,3 м залежно від діаметра пня у корі та без кори (А. М. Білоус et al. 2020; А. М. Білоус, et al. 2021). Саме тому проведено дослідження для розробки регресійних рівнянь, що дозволить отримати значення діаметра стовбура на рівні ґрунту за відомого значення діаметра стовбура на висоті 1,3 м.

Наступним кроком слід визначити тип взаємозв'язку між показниками діаметра на висоті 1,3 м та на рівні поверхні ґрунту (рис. 3.7).

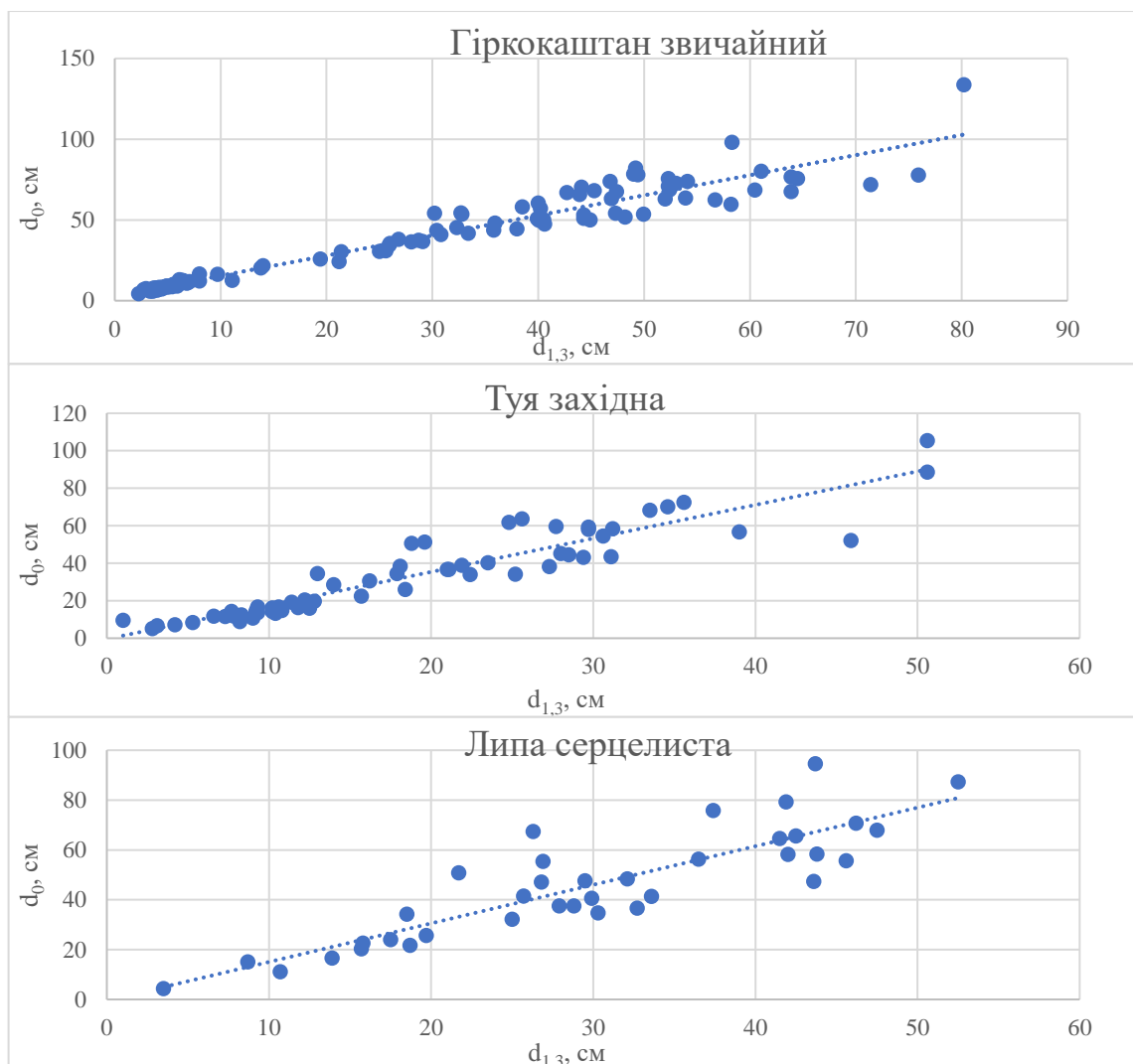


Рис.3.7. Взаємозв'язок між показниками діаметра стовбура на висоті 1,3 м та діаметра на рівні ґрунту

Візуальний аналіз, а також високі значення коефіцієнтів детермінації показують, що найприйнятніше для опису залежності показників лінійне рівняння. У такому випадку статистичний аналіз тісноти зв'язку між показниками діаметра стовбура на висоті 1,3 м та на рівні ґрунту слід виконувати використавши лінійний коефіцієнт кореляції Пірсона (Горошко et al., 2004). Отримані значення кореляції становлять 0,97 для гіркокаштана звичайного, 0,93 для туї західної та 0,87 для липи серцелистої. Це свідчить, що значення діаметрів дерева мають високий ступінь лінійного взаємозв'язку, тому доцільно використати найпростіше лінійне рівняння (3.8):

$$d_0 = a_0 + a_1 \times d_{1,3}, \quad (3.8)$$

де a_0 та a_1 – коефіцієнти, відмінні для кожного деревного виду; $d_{1,3}$ діаметр стовбура на висоті 1,3 м від поверхні ґрунту.

Пошук коефіцієнтів рівняння здійснено в табличному процесорі MS Excel із використанням методу найменших квадратів (Горошко et al., 2004). Із метою виявлення оптимальних коефіцієнтів рівняння задавалися різні первинні значення починаючи від 10 і закінчуючи 0,001. Результати пошуку коефіцієнтів рівняння, незалежно від первинних параметрів, набували однакових значень (табл. 3.5).

Таблиця 3.5

**Коефіцієнти лінійного рівняння визначення діаметра стовбура
на рівні ґрунту**

Коефіцієнти рівняння	Гіркокаштан звичайний	Туя західна	Липа серцелиста
a_0	3,0017	-	-
a_1	1,2452	1,7729	1,5357

Для аналізу розроблених моделей розраховано показник точності вирівнювання моделі (Горошко et al., 2004). Також для визначення

відповідності моделі (3.8) фактичним даним розраховано коефіцієнт детермінації та одержано відповідні результати (табл. 3.6).

Таблиця 3.6

**Аналіз відповідності моделі визначення діаметра стовбура
на рівні ґрунту дослідним даним**

Статистичні показники	Гіркокаштан звичайний	Туя західна	Липа серцелиста
Показник точності вирівнювання	0,97	0,93	0,87
Коефіцієнт детермінації	0,94	0,87	0,76

За наведеними даними значення розрахованих коефіцієнтів наближаються до одиниці. Критичне значення коефіцієнтів не перевищує значення 0,65. Це свідчить про адекватність опису моделями дослідних даних. Оскільки фактичні дані характеризуються високим показником мінливості, додатково для оцінки точності отриманих моделей проведено статистичний аналіз методом «bootstrapping» (Nelson, 2008) у програмі R Studio. Основні характеристики аналізу наступні: кількість ітерацій – 1000; ряд значень незалежної змінної від двох см до 80 см із кроком 2 см. Результати приймалися на рівні значимості 95% (відкидалися значення нижче 2,5 та вище 97,5 перцентилів). Отримані максимальні та мінімальні значення є межами довірчого інтервалу регресійного рівняння. Виконане графічне відображення регресійного рівняння (3.8) із довірчими інтервалами демонструє, що для гіркокаштана звичайного характерна найнижча стрімкість зростання функції, тоді як для туї західної – найвища (рис. 3.8). Варто відзначити зростання розмаху довірчого інтервалу зі збільшенням значень діаметра стовбура дерева на висоті 1,3 м. Тобто наявна чиста гетероскедастичність, що викликана внаслідок зростання модельних дерев у посадках різної щільності. Це зумовлює зниження точності визначення діаметра стовбуру на рівні ґрунту зі збільшенням розмірів дерева.

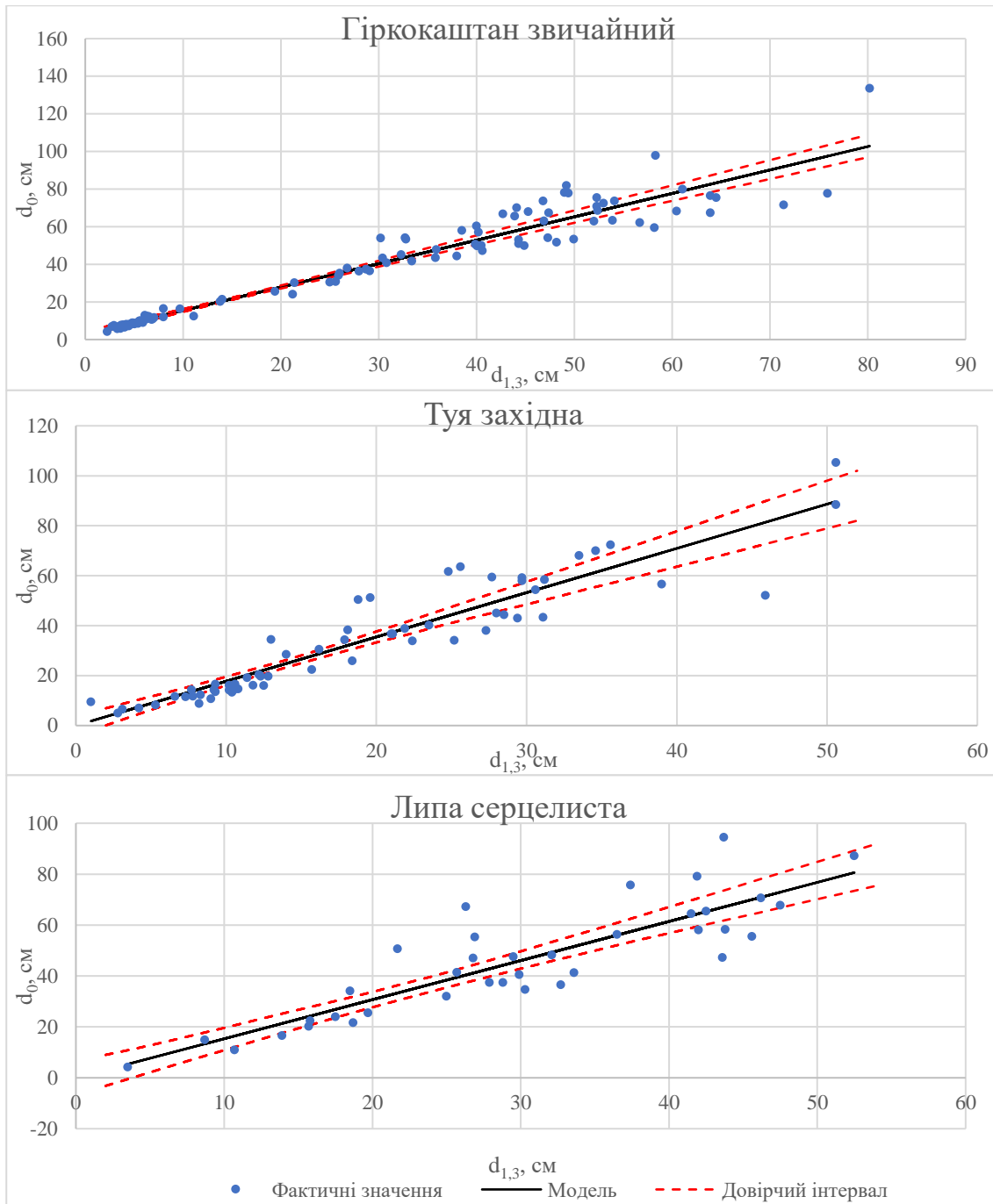


Рис. 3.8. Графічна інтерпретація отриманої моделі

З метою уникнення помилок під час розрахунку значень діаметра на рівні ґрунту доцільно використовувати 2-сантиметрову шкалу значень таксаційного діаметра, а при накладанні довірчих інтервалів сусідніх значень – збільшити шкалу до 4-сантиметрової градації. Також слід зазначити, що модель актуальна лише на проміжку, охопленому фактичними даними. У результаті розрахунків отримуємо таблицю переходу до значень діаметра

стовбура дерева на рівні ґрунту залежно від діаметра на висоті 1,3 м (табл. 3.7).

Таблиця 3.7

**Діаметр дерев на рівні ґрунту у корі
залежно від діаметра на висоті 1,3 м у корі, см**

Діаметр на висоті 1,3 м	Діаметр на рівні ґрунту		
	Гіркокаштан звичайний	Туя західна	Липа серцелиста
2	5	4	3
4	8	7	6
6	10	11	9
8	13	14	12
10	15	18	15
12	18	21	18
14	20	25	21
16	23	28	25
18	25	32	28
20	28	35	31
22	30	39	34
24	33	43	37
26	35	46	40
28	38	50	43
30	40	53	46
32	43	57	49
34	45	60	52
36	48	64	55
38	50	67	58
40	53	71	61
44	58	78	68
48	63	85	74
52	68	92	80
56	73	-	-
60	78	-	-
64	83	-	-
68	88	-	-
72	93	-	-
76	98	-	-
80	103	-	-

Після проведеного моделювання значення діаметра стовбура формула площі поперечного перерізу на рівні ґрунту набуває вигляду (3.9):

$$g_0 = \frac{\pi}{4} \times (a_0 + a_1 \times d_{1,3})^2, \quad (3.9)$$

Формула 3.9 дає змогу визначити площу під одним деревом. Для розрахунку загальної площі всіх дерев на обліковій ділянці слід використовувати формулу 3.10.

$$G_0 = \sum_n^1 g_0 = \sum_n^1 \frac{\pi \times (a_0 + a_1 \times d_{1,3})^2}{4}, \quad (3.10)$$

де G_0 – сума площ поперечного перерізу на рівні ґрунту, n – кількість дерев одного виду на території об'єкта.

Для визначення загальної площі під деревами додаємо значення площі поперечного перерізу всіх деревних видів. Для уникнення накладання та уточнення площі газонів чи квітників, на території яких зростають дерева, потрібно від площі такого об'єкта відняти суму площ поперечних перерізів стовбурів дерев на рівні ґрунту (3.10).

Висновки до розділу 3

1. Враховуючи біологічні особливості багатостовбурних дерев розроблено методику, що дозволяє проводити таксацію середнього діаметра стовбура дерев, з-понад трьома стовбурами в умовах лісового чи урбанізованого середовища, на основі обміру окомірно визначеного найбільшого, наближеного до середнього та найменшого стовбурів при незначному значенні похибки, що не перевищує 5% рівня, та суттєвому зменшенні витрат часу.

2. Запропонований робочою групою «European Consulting Standards in Treework» спосіб визначення середнього діаметра багатостовбурних дерев на основі обміру чотирьох найбільших стовбурів демонструє тенденцію щодо

завищення отриманих результатів. При цьому середнє значення похибки перевищує 10%.

3. Висотоміри, які працюють за принципом властивостей синуса прямокутного трикутника в умовах урбанізованого середовища показали значне заниження висоти дерев, що не може забезпечити необхідну точність.

4. Точність вимірювання висоти дерев для потреб інвентаризації об'єктів урболісівництва може забезпечити застосування усіх використаних у дослідженні висотомірів, зокрема відносно недорогого, доступного для придбання широкому колу користувачів та простого у використанні висотоміра Suunto РМ-5, який за результатами вимірювання не поступається перед дороговартісними лазерними висотомірами-далекомірами.

5. Використання як механічних, так і електронних тригонометричних висотомірів у насадженнях урбосередовища відповідають заявленим виробниками значенням точності та забезпечує необхідну достовірність визначення показника висоти дерева, яка не перевищує рівня 5% похибки

6. Під час проведення інвентаризації об'єктів урболісівництва доцільно використовувати площу поперечного перерізу стовбура на рівні ґрунту як площу дерева.

7. Таблиці діаметра стовбура на рівні ґрунту залежно від діаметра стовбура на висоті 1,3 м можна застосовувати з метою встановлення таксаційних параметрів дерева для відшкодування збитків у разі незаконного зрубвання.

Матеріали розділу опубліковано у працях (Макаревич і Білоус 2024; Bilous et al. 2024; Білоус et al. 2024).

РОЗДІЛ 4

ЕКОСИСТЕМНІ ПОСЛУГИ ДЕРЕВ УРБОСЕРЕДОВИЩА

4.1. Екосистемні послуги дерев урбосередовища території НУБіП України

У світі існує кілька класифікацій ЕП, однак у переважній більшості всі вони виділяють три основні секції – забезпечення, регулювання та культурні ЕП. З огляду на це ресурс CICES (<https://www.cices.org/>, 2024) пропонує уніфіковану класифікацію ЕП, що має на меті не замінити, а полегшити розуміння та перехід між вже існуючими класифікаціями. Це цікава тенденція – спроба стандартизувати класифікацію ЕП, щоб зробити їх розуміння доступнішим та порівняння між різними дослідженнями зручнішим. Така уніфікована класифікація дасть можливість уникнути плутанини і допомогти дослідникам, державним органам та іншим зацікавленим сторонам чіткіше розуміти значення різних аспектів екосистем та їх взаємозв'язків із впливом діяльності людини. Стандартизована класифікація може удосконалити та уніфікувати збір даних, аналіз і порівняння досліджень, що робить її важливою для наукової спільноти та практиків у сфері охорони навколишнього середовища. Крім того, це може бути корисним інструментом для прийняття рішень на різних рівнях – від місцевого планування до розробки політики в різних сферах. Однак важливо також врахувати, що кожна система класифікації має свої обмеження та контекст. Тому важливо підтримувати гнучкість і відкритість для адаптації класифікаційних систем до нових досліджень, змін у суспільних потребах та екологічних умов (<https://www.cices.org/>, 2024).

У кожній класифікації різні групи чи категорії частково або повністю отримуються в результаті фотосинтезу. До таких послуг належать киснепродуктивність та депонування вуглецю і, як наслідок, накопичення та збереження енергії. Як на глобальному, так і регіональному рівнях основна частка цих послуг припадає на ліси. Однак стрімкі процеси урбанізації

поступово починають зменшувати вплив лісових екосистем на міста, де значно вища концентрація людей, шляхом трансформації їх в урболандшафт. Саме тому в міських умовах першочерговою стає наявність об'єктів урболісівництва у забудованій частині міста. Адже на локальному рівні вони створюють опосередкований позитивний вплив на якість життя людей.

Значення показників киснепродуктивності та депонування вуглецю виступає відображенням сталого управління, ефективності впровадження природоохоронних технологій та раціонального використання природних ресурсів. За показниками продукування кисню і депонування вуглецю оцінюють ЕП, які водночас із процесами регулюванням температурного режиму відіграють визначальну роль у поліпшенні стану атмосферного повітря, що відповідає основним вимогам екологічних міжнародних і державних програм, а також ратифікованим Україною Директивам країн ЄС (Фещенко, 2024).

4.1.1. Фітомаса дерев урбосередовища

Фітомаса визнана одним із ключових показників оцінки ЕП дерев, та слугує основою для визначення вуглецедепонувальної здатності деревних рослин (Vasylyshyn et al., 2023). Інтенсивність накопичення фітомаси передусім залежить від видового складу, впливу антропогенних чинників, розташування (Дідух 2007). Наразі в Україні проведено багато детальних досліджень запасів фітомаси, проте переважно вони стосуються лісового (Lesiv et al. 2019; Vilous et al. 2017; Лакида et al. 2018; Дідух і Альошкіна 2007) чи природозаповідного (Vasylyshyn et al. 2021; Токар et al. 2021) фондів.

На основі даних інвентаризації об'єктів урболісівництва території НУБіП України було виконано оцінку накопиченої фітомаси дерев урбосередовища (табл. 4.1). Загальна фітомаса деревної рослинності території НУБіП України становить 2,8 тис. т.

Фітомаса дерев території НУБіП України за обліковими об'єктами

Дослідна ділянка	Загальний обсяг фітомаси, т	Щільність фітомаси, т·га ⁻¹
1	46,0	48,9
2	34,1	82,5
3	79,3	52,0
4	427,0	67,0
5	237,0	106,9
6	452,9	76,3
7	722,1	94,0
8	760,1	58,0

Найвищу щільність фітомаси демонструють насадження території дослідної ділянки №5 (9% від загального запасу фітомаси), та найнижчу – ділянки №1 (2% запасу біомаси). Щільність фітомаси решти територій змінюється в діапазоні від 52 до 94 т·га⁻¹.

В озелененні дослідної території трапляється 111 деревних видів, де значна кількість таких становить відносно низьку частку накопиченої фітомаси. Тому доцільно виконати групування результатів за родами дерев (табл. 4.2). Роди, фітомаса компонентів яких знаходиться на рівні менше 100 кг, об'єднано в категорію «інші»

Таблиця 4.2

Фітомаса дерев території НУБіП України за компонентами

Рід дерева	Фітомаса дерев, кг				
	стовбур	гілки	листя (хвоя)	корінь	разом
Абрикос	2470	2365	38	1245	6118
Айлант	3148	1560	35	1166	5909
Бархат	768	275	9	228	1280
Береза	66100	24092	1349	15437	106977
Бук	6766	7041	31	855	14693
В'яз	17273	17370	161	4631	39436
Верба	4664	21804	966	1516	28950
Вишня	1446	8105	68	1446	11065
Вільха	5411	501	18	834	6764

Продовження табл. 4.2

Рід дерева	Фітомаса дерев, кг				
	стовбур	гілки	листя (хвоя)	корінь	разом
Гіркокаштан	56173	57458	3405	17290	134326
Глід	2682	633	20	823	4158
Горіх	7746	8341	632	2992	19710
Горобина	1202	1781	34	808	3826
Граб	127870	7773	167	12168	147978
Груша	4398	5601	80	1453	11532
Дуб	256656	83675	945	24728	366004
Золотий дощ	4667	491	11	984	6153
Катальпа	18051	6862	507	2870	28290
Кипарисовик	308	50	12	174	543
Клен	133828	496285	1342	28461	659916
Липа	121152	169003	8338	31086	329579
Ліщина	736	46	4	171	958
Платан	2197	153	11	355	2716
Робінія	60201	21266	330	10444	92240
Слива	590	330	15	582	1518
Сосна	5717	37	2	1185	6941
Сумах	4646	1602	165	1709	8122
Тополя	153541	266551	6855	15159	442106
Туя	31146	16612	3905	18507	70170
Церсис	2739	701	42	335	3817
Черемха	11302	714	45	1138	13199
Черешня	2307	1681	125	1217	5330
Шовковиця	27343	7241	104	3784	38471
Яблуня	3454	16211	166	1719	21550
Ялина	18741	6869	1512	7956	35078
Ясен	15765	60888	89	4410	81152
Інші	929	350	41	1008	2328

У розподілі за компонентами переважає фітомаса грубих та дрібних гілок – 1,3 тис. т (47,9%). Наступною, з невеликою різницею, стала фітомаса стовбура – 1,2 тис. т (42,9%). Значно менша частка припадає на фітомасу коренів – 0,2 тис. т (8,0%). І найменше, лише 1,1% (32 т), листя (хвоя).

Накопичення фітомаси листяними (95,9%) помітно вище порівняно з хвойними (4,1%) (рис. 4.1; 4.2).

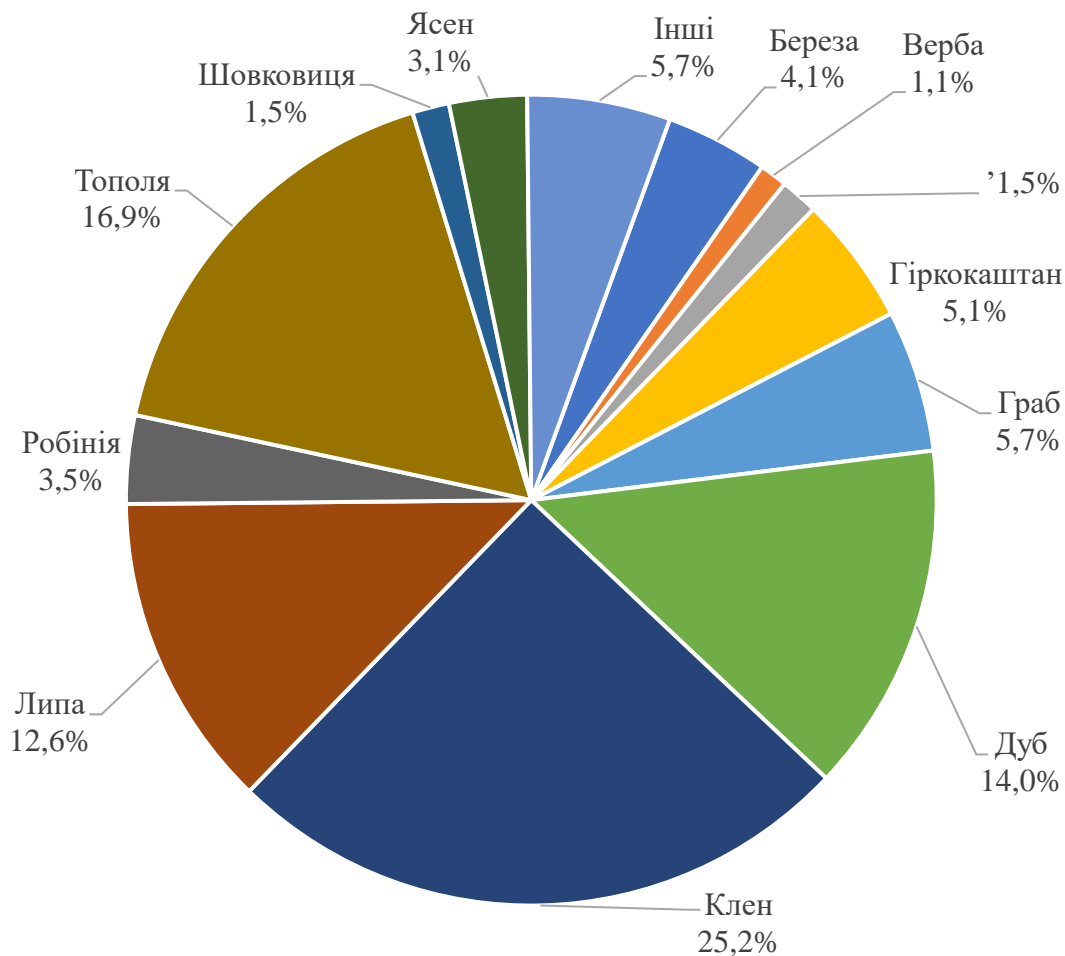


Рис.4.1. Розподіл фітомаси листяних дерев урбосередовища НУБіП України за родами дерев

Найбільша частка фітомаси зосереджена в деревах роду Клен (660 т), що об'єднує види: клен гостролистий (зокрема форма куляста), клен польовий, клен сріблястий, клен татарський, клен цукристий, клен ясенелистий, клен несправжньо-платановий. Рід Тополя (442 т) представлений видами: тополя бальзамічна, тополя біла, тополя італійська, тополя пірамідальна, тополя тремтяча, тополя чорна. Липа великолиста, липа кавказька, липа повстиста та липа серцелиста концентрують 330 т біомаси. Рід Дуб (366 т) на досліджуваній території представлений такими видами, як дуб звичайний, дуб червоний та дуб болотний. Вищевказані чотири роди становлять 68,7% від загальної фітомаси дерев урбосередовища. Деревина родів

Абрикос, Айва, Бархат, Золотий дощ, Бузина, Бук, Вишня, Вільха, Глід, Горіх, Горобина, Груша, Калина, Кательпа, Каштан, Ліщина, Магнолія, Платан, Скумпія, Слива, Сумах, Церсис, Черемха та Яблуня, частка фітомаси яких становить менше 1%, об'єднано в категорію «інші».

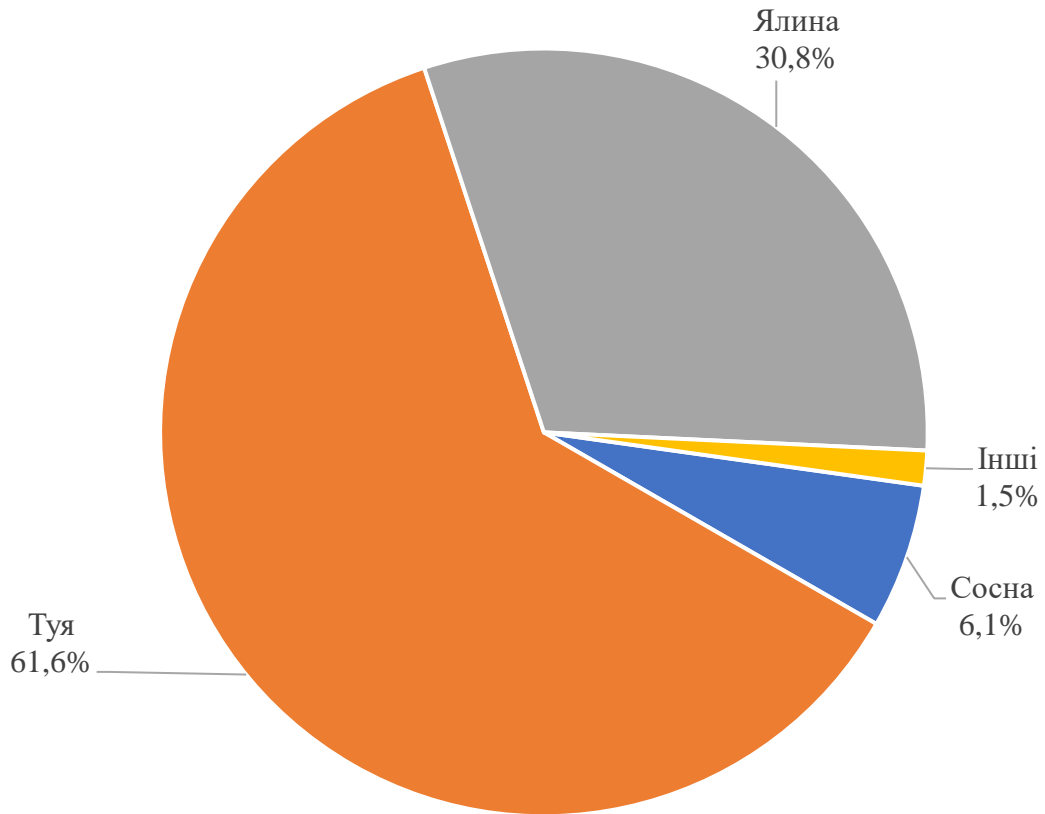


Рис.4.2. Розподіл фітомаси хвойних дерев урбосередовища території НУБіП України за родами дерев

Найбільша частка фітомаси хвойних припадає на рід Туя (71 т), зокрема туя західна (культивари «Солупна» і «Смарагд»), туя гігантська та біота східна. Ялина європейська, ялина колюча та ялина сербська представляють рід Ялина (35 т). Рід Сосна (7 т) представлено видами сосна звичайна та сосна кримська. Категорія «інші» об'єднує такі роди, як Гінкго, Кипарисовик, Модрина, Тис, Ялиця та Ялівець.

4.1.2. Біорізноманіття деревної рослинності

У процесі інвентаризації об'єктів урболісівництва території НУБіП України виявлено 111 різних деревних видів, що належать до 49 родів, 20

родин, 14 рядів, 12 класів та 4 типів. Видовий склад характеризується значною перевагою листяних деревних видів (76%).

Серед листяних найбільшу частку становлять липи – 16,6% (серцелиста, великолиста, кавказька та повстиста), клени – 14,7% (гостролистий, ясенелистий, клен несправжньоплатановий, польовий, сріблястий, цукристий, татарський) та гіркокаштан звичайний – 12,2% (рис. 4.3).

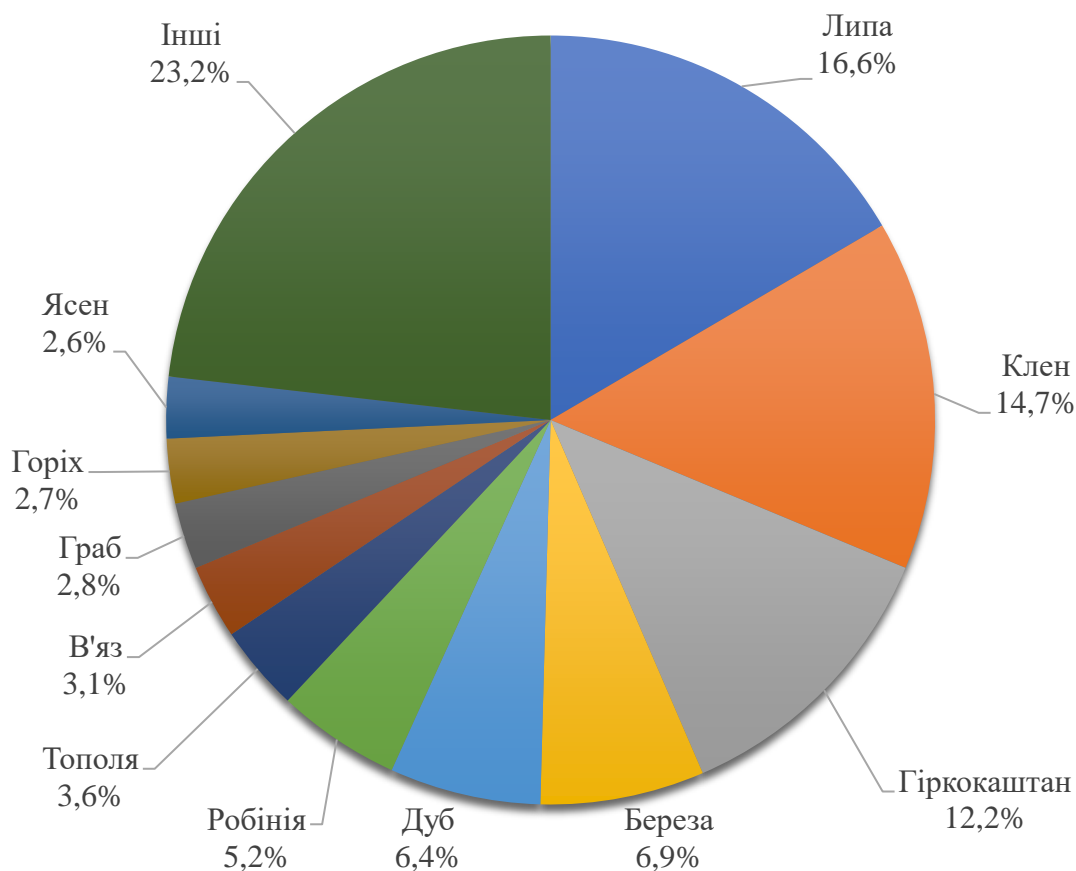


Рис. 4.3. Структура листяних дерев території НУБіП України

Категорія «інші» вирізняється найбільшою часткою (23,19%), що пояснюється досить просто – загальна кількість листяних дерев досягає 4,23 тис. шт. із 94 деревних видів (Макаревич 2023b).

В озелененні території університету серед хвойних найчастіше використовуються дерева роду Туя 63,3% (туя західна, туя гігантська та біота східна) (рис. 4.4). Рід Ялина представлений ялиною звичайною, ялиною колючою та ялиною канадською.

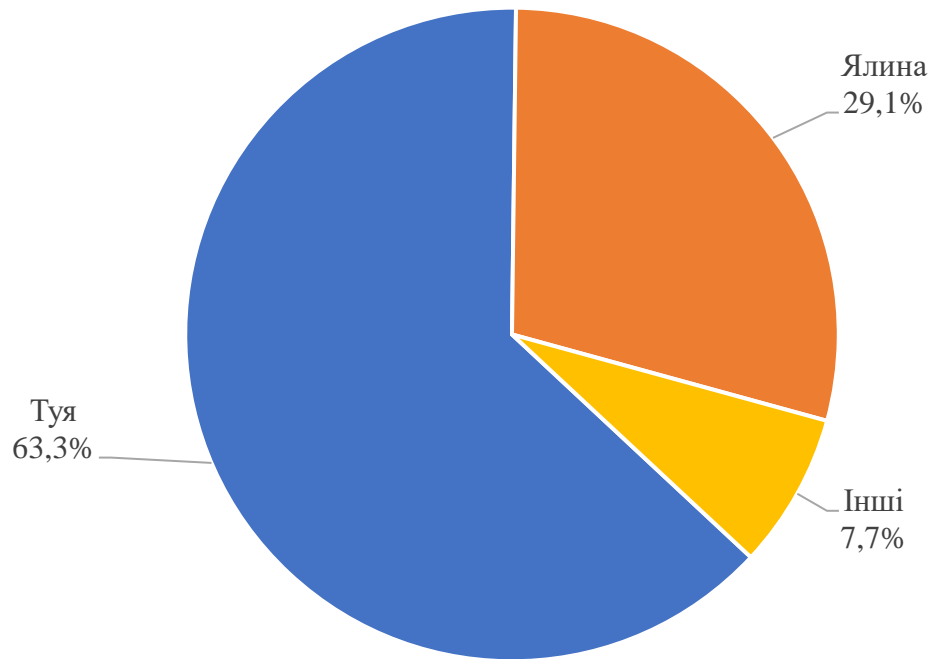


Рис. 4.4. Структура хвойних дерев території НУБіП України

Дерева родів Сосна, Тис, Ялівець, Модрина, Гінкго і Ялиця об'єднано в категорію "інші". Загальна кількість хвойних становить 1015 шт.

4.1.3. Депонування вуглецю

Вуглецедепонувальна послуга характеризується значеннями таких показників, як обсяг депонованого вуглецю та його щільність. Встановлено, що загальний обсяг депонованого вуглецю, накопичений деревами на території НУБіП України становить 1,4 Тг (табл. 4.3).

Таблиця 4.3

Депонований вуглець насаджень території НУБіП України за компонентами дерева

Рід дерева	Депонований вуглець, кг				
	стовбур	гілки	листя (хвоя)	корінь	разом
Абрикос	1235	1182	19	623	3059
Айлант	1574	780	17	583	2954
Бархат	384	138	5	114	640
Береза	33050	12046	674	7718	53489
Золотий дощ	2333	246	5	492	3076

Рід дерева	Депонований вуглець, кг				
	стовбур	гілки	листя (хвоя)	корінь	разом
Бук	3383	3521	15	427	7346
Верба	2332	10902	483	758	14475
Вишня	723	4052	34	723	5532
Вільха	2706	251	9	417	3382
В'яз	8637	8685	81	2316	19718
Гіркокаштан	28087	28729	1702	8645	67163
Глід	1341	316	10	412	2079
Горіх	3873	4170	316	1496	9855
Горобина	601	891	17	404	1913
Граб	63935	3886	84	6084	73989
Груша	2199	2801	40	727	5766
Дуб	128328	41837	473	12364	183002
Катальпа	9025	3431	253	1435	14145
Кипарисовик	154	25	6	87	272
Клен	66914	248142	671	14230	329958
Липа	60576	84501	4169	15543	164790
Ліщина	368	23	2	86	479
Платан	1099	77	6	177	1358
Робінія	30100	10633	165	5222	46120
Слива	295	165	8	291	759
Сосна	2859	18	1	592	3471
Сумах	2323	801	82	855	4061
Тополя	76770	133276	3427	7580	221053
Туя	15573	8306	1952	9254	35085
Церсис	1370	350	21	167	1908
Черемха	5651	357	23	569	6599
Черешня	1154	841	62	608	2665
Шовковиця	13672	3620	52	1892	19236
Яблуня	1727	8105	83	860	10775
Ялина	9370	3435	756	3978	17539
Ясен	7883	30444	45	2205	40576
Інші	465	175	20	504	1164

У розподілі компонентів переважає вуглець гілок 657,1 Мг (48,4%) і найменше, лише 16 Мг (1,1%), становить листя. Стосовно хвойних і листяних деревних видів сформувався співвідношення 4,1% до 95,9% відповідно.

Переважно вищі значення вугледепонувальної здатності притаманні класу якості «добрий», але величина депонованого вуглецю прямо не залежить від якісного стану дерева (табл. 4.4).

Таблиця 4.4

Вугледепонувальна здатність за віком та класами якості

Десятирічні вікові періоди	Середнє значення депонованого вуглецю, кг·рік ⁻¹		
	добрий	задовільний	незадовільний
До 10 років	15	12	7
11-20	50	70	64
21-30	143	313	347
31-40	323	378	300
41-50	1078	453	584
51-60	546	938	1196
61-70	1733	836	240
71-80	2127	1176	1813
81-90	1211	1192	1496
91-100	2470	1265	1246
Понад 100 років	3786	4545	4730

Це підтверджується значеннями вікового періоду «51-60», де середня продуктивність депонування вуглецю дерев класу якості «незадовільний» більше ніж у два рази перевищує продуктивність класу якості «добрий». Цей приклад яскраво ілюструє результат прийнятих рішень щодо використання швидкорослих деревних видів, які наразі починають вичерпувати термін використання та, як наслідок, характеризуються гіршими показниками якісного стану. Застосування швидкорослих дерев забезпечує інтенсивне депонування вуглецю, однак не вирішує проблему його довготривалої консервації. Для вирішення таких завдань на стратегічному рівні доцільне використання повільнорослих твердолистяних деревних видів.

Найбільший обсяг вуглецю (27.6%) відповідає найбільшій за площею дослідній ділянці №8 (табл. 4.5).

**Депонований вуглець насаджень території НУБіП України за
дослідними ділянками**

Номер дослідної ділянки	Депонований вуглець, Мг	Щільність депонованого вуглецю, Мг га ⁻¹
1	23	24
2	17	41
3	40	26
4	213	33
5	118	53
6	226	38
7	361	47
8	380	29

Найменша кількість вуглецю накопичена деревами території об'єкта №2 (1,2%). Найвища щільність вуглецю відповідає насадженням на території дослідної ділянки №5, найнижча – території ділянці №1, що пов'язано з пізнішим періодом реконструкції корпусу №6 та навколишньої території. Значення щільності решти ділянок коливається в діапазоні від 26 до 47 Мг рік⁻¹.

За результатами аналізу можна стверджувати, що вуглецедепонувальна здатність залежить передусім від розмірних характеристик та особливостей деревних видів.

4.1.4. Продукування кисню

Киснепродукувальна послуга характеризується загальними обсягами киснепродуктивності та показниками щільності продукованого кисню на одиниці площі.

За даними інвентаризації встановлено, що загальний обсяг продукованого кисню становить 3,9 тис. т (табл. 4.6).

Продукований кисень дерев території НУБіП України

Рід дерева	Загальна кількість продукowanego кисню, т	Середня киснепродуктивність, кг
Абрикос	8565	260
Айлант	8272	243
Бархат	1792	448
Береза	149768	738
Золотий дощ	8614	663
Бук	20570	2571
Верба	40530	1126
Вишня	15490	165
Вільха	9470	1353
В'яз	55210	607
Гіркокаштан	188056	521
Глід	5821	416
Горіх	27594	368
Горобина	5356	206
Граб	207169	2302
Груша	16145	646
Дуб	512406	2452
Катальпа	39606	566
Кипарисовик	761	190
Клен	862557	1925
Липа	460892	935
Ліщина	1341	335
Платан	3803	951
Робінія	129136	957
Слива	2125	82
Сосна	9718	423
Сумах	11371	307
Тополя	618949	5895
Туя	98239	158
Церсис	5344	1336
Черемха	18478	2053
Черешня	7462	207
Шовковиця	53860	1016
Яблуня	30170	457
Ялина	49109	197
Ясен	113612	1457
Інші	3259	41

Як свідчать наведені дані, найбільшу кількість кисню виробили дерева роду Клен (22,7%), що охоплює види: клен гостролистий (зокрема форма куляста), клен польовий, клен сріблястий, клен татарський, клен цукристий,

клен ясенелистий та клен несправжньо-платановий. Найменше – рід Магнолія, що представлений лише трьома рослинами. Стосовно середніх показників продукованого кисню, то найвище значення забезпечили дерева роду Тополя. Це пояснюється переважанням дерев віком понад 60 років, на які припадає понад 70% рослин роду Тополя. Найбільший обсяг кисню продукується деревами території дослідної ділянки №8 (27.6%) (табл. 4.7).

Таблиця 4.7

**Продукований кисень дерев урбосередовища території НУБіП
України в розрізі облікових об'єктів**

Номер дослідної ділянки	Загальна кількість продукованого кисню, т	Щільність продукованого кисню $t \cdot га^{-1}$
1	64	69
2	48	115
3	111	73
4	598	94
5	332	150
6	634	107
7	1011	132
8	1064	81

Найменша кількість кисню виробилася деревними рослинами ділянки №2 (1,2%). Щільність продукованого кисню варіює в межах від 68,5 (ділянка №1) до 149,5 (ділянка №5), $t \cdot га^{-1}$.

Киснепродуктивна здатність залежить від інтенсивності фотосинтезу та площі листової поверхні, що у свою чергу залежить від розмірних характеристик та якісного стану деревних рослин.

4.1.5. Накопичення енергії

Накопичення енергії виступає супутнім процесом основних ЕП, таких як виділення кисню та депонування вуглецю, що продукуються в результаті фотосинтезу. Деревні рослини характеризуються довготривалим накопиченням вуглецю, що супроводжуються процесами поглинання і перетворення енергії. Енергетичний баланс є одним з основних показників

стійкості екосистеми (Vasylyshyn et al., 2022). Питання продуктивності та енергетичного балансу визначено ключовими для оцінки перетворення сонячної енергії та накопичення органічної речовини в різних типах екосистем (Дідух і Альошкіна, 2007). Паралельно з цим відбувається формування енергетичного потенціалу. За позитивного енергетичного потенціалу екосистеми можна робити висновки щодо дотримання принципів сталого розвитку в господарській діяльності (Фещенко, 2024).

Загальноприйнятій практиці оцінки енергетичної послуги лісів у світі притаманні два основні напрями, відповідно до яких пріоритетною виділяється її економічна або біофізична оцінка. Історично склалося так, що в Україні значного розвитку набув другий напрям (Vasylyshyn et al., 2022).

Загальний вміст енергії дерев урбосередовища території НУБіП України становить 49,3 ТДж (табл. 4.8).

Таблиця 4.8

Розподіл енергії за компонентами фітомаси дерев дослідної території

Рід дерева	Накопичена енергія за компонентами фітомаси, ГДж				
	стовбур	гілки	листя	корінь	разом
Абрикос	44	42	1	22	109
Айлант	56	28	1	21	106
Бархат	14	5	0	4	23
Береза	1182	431	24	276	1913
Бобовник	83	9	0	18	110
Бук	121	126	1	15	263
Верба	83	390	17	27	518
Вишня	26	145	1	26	198
Вільха	97	9	0	15	121
В'яз	309	311	3	83	705
Гіркокаштан	1004	1027	61	309	2402
Глід	48	11	0	15	74
Горіх	138	149	11	54	352

Рід дерева	Накопичена енергія за компонентами фітомаси, ГДж				
	стовбур	гілки	листя	корінь	разом
Горобина	21	32	1	14	68
Граб	2286	139	3	218	2646
Груша	79	100	1	26	206
Дуб	4589	1496	17	442	6544
Катальпа	323	123	9	51	506
Кипарисовик	6	1	0	3	10
Клен	1880	8725	16	395	11016
Липа	2156	3026	149	555	5886
Ліщина	13	1	0	3	17
Платан	39	3	0	6	49
Робінія	1076	380	6	187	1649
Слива	11	6	0	10	27
Сосна	102	1	0	21	124
Сумах	83	29	3	31	145
Тополя	2745	4766	123	271	7905
Туя	557	297	70	331	1255
Церсис	49	13	1	6	68
Черемха	202	13	1	20	236
Черешня	41	30	2	22	95
Шовковиця	489	129	2	68	688
Яблуня	62	290	3	31	385
Ялина	335	123	27	142	627
Ясен	282	1089	2	79	1451
Інші	17	6	1	18	42

Згідно з одержаними даними, найбільша частка енергії фітомаси припадає на вміст надземної частини (91,0%), зокрема на: стовбур – 20,6 ТДж (42,5%); гілки – 23,5 ТДж (48,4%).

Найбільший обсяг енергії (31,4%) зосереджено на дослідній ділянці №8. Найменша кількість зосереджена в деревних рослинах території дослідної ділянки №2 (1,2%) (табл. 4.9).

Таблиця 4.9

Накопичена енергія дерев урбосередовища території НУБіП України

Номер дослідної ділянки	Енергія, ТДж	Щільність енергії ТДж·га ⁻¹
1	0,8	0,9
2	0,6	1,5
3	1,4	0,9
4	7,6	1,2
5	4,2	1,9
6	8,1	1,4
7	12,9	1,7
8	13,6	1,0

Найвища щільність енергії відповідає насадженням на території ділянки №5, найнижча – ділянки №1.

За результатами аналізу можна стверджувати, що величина накопиченої енергії прямопропорційна величині розмірних характеристик дерева та особливостей росту деревних видів.

4.2. Приріст екосистемних послуг

Різні типи екосистем продукують різний обсяг ЕП. Навіть у межах одної екосистеми продукування буде не рівномірне, що залежить від видового складу, розміщення в просторі та інших якісних показників. Біофізичні показники ЕП засвідчують оцінку продуктивності і стану екосистем у загальному. Для розуміння сучасного стану і показників продуктивності використовують значення поточного приросту ЕП (Білоус, 2020; Фещенко, 2024).

Використовуючи таксаційні показники, виміряні під час інвентаризації об'єктів урболісівництва, та враховуючи інтенсивність росту і розвитку на основі значень радіального приросту розраховано приріст ЕП для кожного

дерева. Загальний поточний приріст фітомаси з урахуванням стовбура, кори, гілок, листя, коріння становить 37,9 т. (табл. 4.10).

Таблиця 4.10

**Поточний приріст показників ЕП дерев урбосередовища НУБіП
України**

Рід дерева	Поточний приріст фітомаси, кг	Поточне депонування вуглецю, Мг	Поточне накопичення енергії, МДж	Поточна киснепродуктивність, кг
Абрикос	207	104	3709	290
Айлант	151	75	2699	211
Бархат	32	16	581	45
Береза	1912	956	34183	2677
Золотий дощ	67	33	1191	93
Бук	92	46	1642	129
Верб	356	178	6363	498
Вишня	307	153	5482	429
Вільха	72	36	1291	101
В'яз	437	219	7821	612
Гіркокаштан	5451	2725	97462	7631
Глід	39	19	689	54
Горіх	549	274	9809	768
Горобина	406	203	7252	568
Граб	759	379	13563	1062
Груша	562	281	10056	787
Дуб	6930	3465	123901	9701
Катальпа	118	59	2101	165
Кипарисовик	6	3	112	9
Клен	4669	2335	83484	6537
Липа	4128	2064	73802	5779
Ліщина	12	6	214	17
Платан	16	8	284	22
Робінія	1384	692	24739	1937
Слива	39	20	703	55
Сосна	182	91	3247	254
Сумах	183	91	3268	256
Тополя	3848	1924	68797	5387
Туя	2398	1199	42877	3357
Церсис	27	14	490	38
Черемха	88	44	1568	123
Черешня	179	90	3209	251
Шовковиця	242	121	4321	338
Яблуня	414	207	7408	580
Ялина	935	468	16725	1310
Ясен	621	311	11107	870
Інші	53	26	939	74

Поточний приріст депонування вуглецю знаходиться на рівні 18,9 Мг, накопичення енергії – 677,1 ГДж. Поточний приріст продукованого кисню становить 53,0 т. Понад 50% приросту ЕП забезпечують дуб звичайний, гіркокаштан звичайний, липа серцелиста, клен гостролистий, береза повисла та туя західна. Найвища частка приросту ЕП належить деревам роду Дуб (18,3%).

Найвищі значення поточної продуктивності ЕП демонструє облікова територія №7 (табл. 4.11). Більше половини приросту забезпечують дерева родів Дуб (25,2%), Клен (16,8%) та Липа(13,6%).

Таблиця 4.11

Поточний приріст ЕП дерев дослідних ділянок

Номер дослідної ділянки	Загальний приріст			
	фітомаса, т·рік ⁻¹	вуглець, Мг·рік ⁻¹	енергія, ГДж·рік ⁻¹	кисень, т·рік ⁻¹
1	0,5	0,2	8,3	0,6
2	0,5	0,3	9,5	0,7
3	1,4	0,7	24,8	1,9
4	5,6	2,8	99,7	7,8
5	2,8	1,4	49,7	3,9
6	9,0	4,5	161,2	12,6
7	11,0	5,5	197,1	15,4
8	7,1	3,5	126,8	9,9

Показники загального приросту значною мірою залежать від загальної площі. Тому для об'єктивного порівняння різних облікових об'єктів доцільно використовувати значення поточної продуктивності (табл. 4.12). Середній поточний приріст фітомаси становить 1 т·га⁻¹, поточна вуглецедепонувальна здатність – 0,5 Мг·га⁻¹ Середній поточний приріст енергії відповідає значенню 17,7 ГДж·га⁻¹, поточна киснепродуктивність дорівнює 1,4 т·га⁻¹. З-поміж дослідних ділянок за найінтенсивнішим поточним приростом показників ЕП виділяються дерева ділянки №6. Серед дерев, які зростають на досліджуваній території за приростом переважають дерева роду Дуб, зокрема дуб звичайний.

Продуктивність ЕП дерев дослідних ділянок

Номер дослідної ділянки	Поточна продуктивність			
	приріст фітомаси, т·га ⁻¹	депонування вуглецю, Мг·га ⁻¹	накопичення енергії, ГДж·га ⁻¹	Киснепродуктивність, т·га ⁻¹
1	0,5	0,2	8,8	0,7
2	1,3	0,6	23,0	1,8
3	0,9	0,5	16,3	1,3
4	0,9	0,4	15,6	1,2
5	1,3	0,6	22,4	1,8
6	1,5	0,8	27,2	2,1
7	1,4	0,7	25,7	2,0
8	0,5	0,3	9,7	0,8

Для інтерпретації й розуміння величини поточних показників продуктивності ЕП дерев доцільно розглянути загальну величину викидів вуглецю внаслідок діяльності такої конгломерації, як університет. За даними (*Реєстр об'єктів, які справляють шкідливий вплив, 2024*) щорічно НУБіП України продукує викиди вуглекислого газу в розмірі 437,6 т. Враховуючи масову частку карбону у складі вуглекислого газу (27,3%), одержане значення викидів чистого вуглецю досягає значення 119,5 Мг. Дерева урбосередовища території університету забезпечують 18,5% депонування цих викидів вуглецю. Варто зауважити, що оцінка виділеного вуглекислого газу стосується всіх підрозділів (включаючи науково-дослідні станції та бази практик). Існують різні підходи для оцінювання ЕП, проте в кінцевому результаті вони зводяться до двох категорій оцінювання – кількісних і вартісних показників.

4.3. Вартісна оцінка екосистемних послуг

Процес визначення кількісних показників являє собою важливу складову забезпечення постійної та регулярної підтримки ЕП (Бідолах et al., 2023). Однак для інтерпретації фактичних даних різних показників та створення умов для їх інтеграції у практичні рішення щодо сталого розвитку необхідно проводити монетизацію, тобто встановлення вартісних значень

(Бідолах et al., 2023; D. J. Nowak et al., 2007). Наявність грошового виразу вартості ЕП спрощують усвідомлення їхньої цінності та важливості. Такий підхід є можливою альтернативою наявним нормативно-правовим актам для визначення балансової вартості об'єктів урболісівництва в Україні (Інструкція з інвентаризації зелених насаджень у населених пунктах України, 2001).

Об'єкти урболісівництва, до яких відносяться дослідні ділянки, мають розглядатися не як ресурсна база, а як джерело естетичних, рекреаційних, санітарно-гігієнічних, виховних та інших нематеріальних ЕП. Разом із тим, оцінити весь перелік таких послуг у біофізичних показниках практично неможливо через відсутність чітких критеріїв (Бідолах et al., 2023). Таким чином, стає очевидною необхідність вираження вартості ЕП через призму оцінки ресурсного потенціалу (Бідолах et al., 2023; Дідух і Альошкіна, 2007). Із таких показників найбільш доцільно виконувати розрахунки вартості депонованого вуглецю та накопиченої енергії, як результат процесів регуляції складу атмосфери (Rossi et al., 2022).

Розрахунок вартості ЕП дерев території НУБіП України здійснювався на основі кількісних показників, визначених вище. Загальну вартість депонованого вуглецю отримано множенням кількісних показників на ціну, що може оперуватися з різних джерел, зокрема вуглецевих бірж. У представленому випадку в подальшому передбачається порівняння накопиченого вуглецю з результатами оцінки i-Tree, тому для уникнення розбіжностей вартісних оцінок через різницю ціни одиниці було прийнято рішення використати значення вартості, запропоноване додатком i-Tree eso (5526 грн·г⁻¹). Алгоритм розрахунку вартості накопиченої енергії дещо складніший, оскільки з метою використання накопиченої енергії виконують спалювання деревини, в результаті чого отримується теплова енергія (теплота). Одиницею вимірювання теплоти є так званий therm (терм). Він використовується в контексті споживання природного газу. Один therm рівний близько 105,5 МДж, а його ціна становить 26,47 грн·therm⁻¹. Ціни

отримано за допомогою програмного продукту i-Tree есо станом на час проведення розрахунків. Загальна вартість депонованого вуглецю становить 7,6 млн грн, вартість накопиченої енергії – 12,4 млн грн (табл. 4.13).

Таблиця 4.13

Вартість ЕП дерев урбосередовища НУБіП України

Номер дослідної ділянки	Загальний обсяг ЕП		Приріст ЕП	
	депонованого вуглецю, тис. грн	накопиченої енергії, тис. грн	депонованого вуглецю, тис. грн	накопиченої енергії, тис. грн
1	126,7	205,8	1,3	2,1
2	94,2	153,0	1,5	2,4
3	218,9	355,4	3,8	6,2
4	1179,1	1914,5	15,4	25,0
5	698,1	1133,5	7,7	12,5
6	1249,1	2028,1	24,9	40,4
7	1993,0	3236,2	30,5	49,4
8	2544,3	4131,3	19,6	31,8

Сумарна вартість депонованого вуглецю та накопиченої енергії досягає 20,0 млн грн (рис. 4.5). Поточний приріст вартості ЕП становить 274,5 тис. грн.

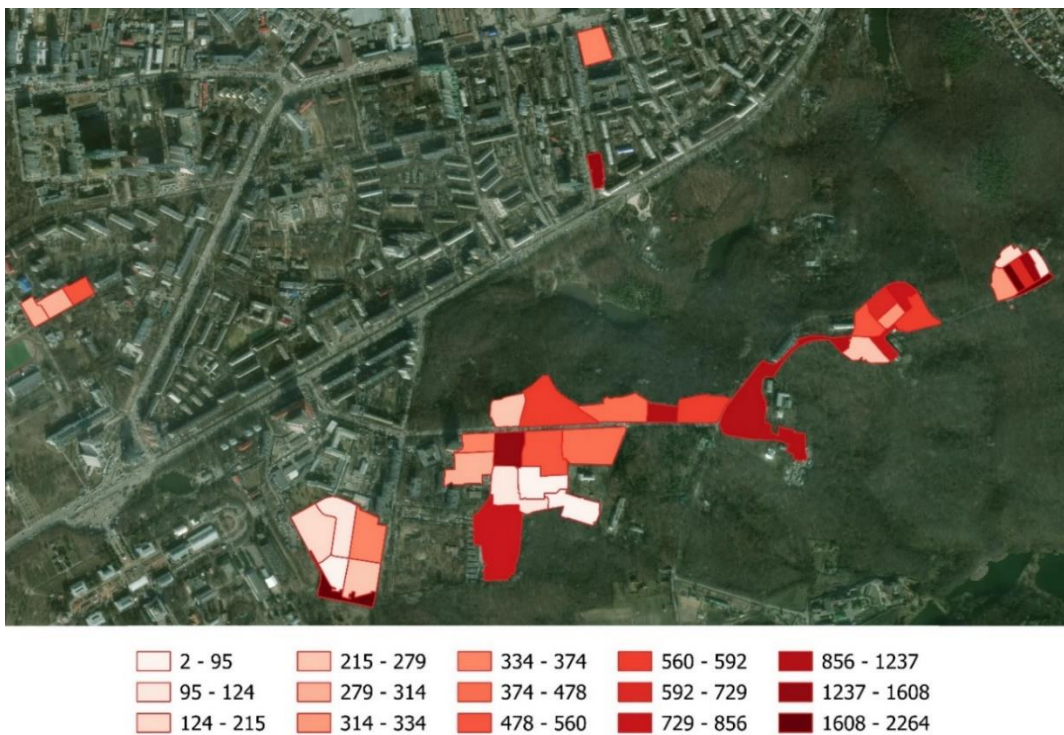


Рис. 4.5. Розподіл вартості депонованого вуглецю та накопиченої енергії, тис. грн·та⁻¹

Очікувано, що найвищий показник вартості ЕП демонструє облікова ділянка №6 території корпусу № 12 (дослідна ділянка №4), адже більша її частина за щільністю зростання дерев подібна до лісових насаджень. Найвище значення приросту депонованого вуглецю та накопиченої енергії встановлено для дослідної ділянки №6 (11,0 тис. грн·га⁻¹) (рис. 4.6).

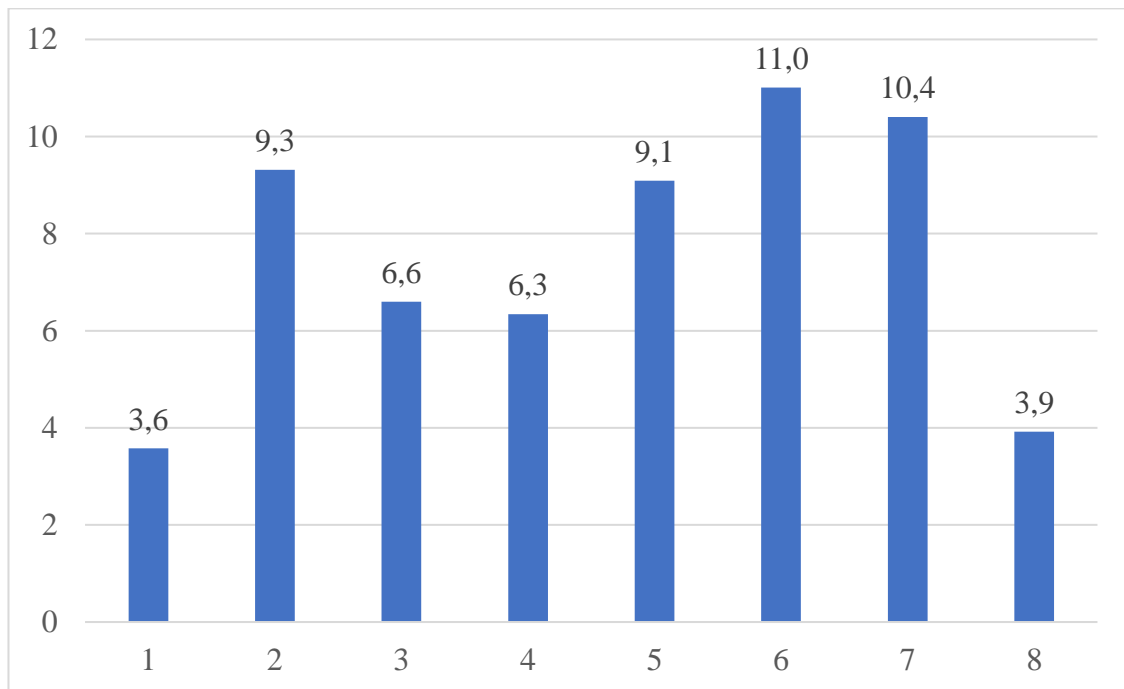


Рис. 4.6. Вартість приросту депонованого вуглецю та накопиченої енергії, тис грн·га⁻¹

Найнижчий показник виявився у дослідній ділянці №1, що може бути пов'язано з найпізнішою реконструкцією цього об'єкта. У цьому контексті виконано розподіл за родовою назвою дерев (табл. 4.14).

Таблиця 4.14

Вартість ЕП дерев урбосередовища НУБіП України

Рід дерева	ЕП		Приріст ЕП	
	депонованого вуглецю, тис. грн	накопиченої енергії, тис. грн	депонованого вуглецю, тис. грн	накопиченої енергії, тис. грн
Абрикос	16,9	27,4	0,6	0,9
Айлант	16,3	26,5	0,4	0,7
Бархат	3,5	5,7	0,1	0,1
Береза	295,2	479,3	5,3	8,6

Рід дерева	ЕП		Приріст ЕП	
	депонованого вуглецю, тис. грн	накопиченої енергії, тис. грн	депонованого вуглецю, тис. грн	накопиченої енергії, тис. грн
Бук	40,6	65,9	0,3	0,4
Верба	79,7	129,4	1,0	1,6
Вишня	30,6	49,6	0,8	1,4
Вільха	18,7	30,3	0,2	0,3
В'яз	108,9	176,8	1,2	2,0
Гірकोкаштан	370,2	601,1	15,1	24,5
Глід	11,5	18,6	0,1	0,2
Горіх	54,3	88,1	1,5	2,5
Горобина	10,6	17,1	1,1	1,8
Граб	408,8	663,8	2,1	3,4
Груша	31,8	51,7	1,6	2,5
Дуб	1010,9	1641,5	19,1	31,1
Золотий дощ	17,0	27,6	0,2	0,3
Катальпа	78,0	126,7	0,3	0,5
Кипарисовик	1,5	2,4	0,0	0,0
Клен	1702,0	2763,5	12,9	20,9
Липа	907,2	1473,1	11,4	18,5
Ліщина	2,6	4,3	0,0	0,1
Платан	7,5	12,2	0,0	0,1
Робінія	254,8	413,7	3,8	6,2
Слива	4,2	6,8	0,1	0,2
Сосна	19,2	31,1	0,5	0,8
Сумах	22,4	36,4	0,5	0,8
Тополя	1219,6	1980,3	10,6	17,3
Туя	192,8	313,0	6,6	10,8
Церсис	10,5	17,1	0,1	0,1
Черемха	36,5	59,2	0,2	0,4
Черешня	14,7	23,9	0,5	0,8
Шовковиця	106,3	172,5	0,7	1,1
Яблуня	59,5	96,6	1,1	1,9
Ялина	96,5	156,7	2,6	4,2
Ясен	224,2	364,0	1,7	2,8
Інші	6,4	10,4	0,1	0,2

Найвищі показники загальної вартості забезпечують дерева роду Клен. За приростом вартості ЕП найвищі показники демонструють дерева роду Дуб, зокрема дуб звичайний, дуб червоний та дуб болотний.

4.4. Оцінювання екосистемних послуг за використання інструментарію i-Tree есо.

Інструментарій i-Tree складається з кількох окремих інструментів для оцінки ЕП як окремих рослин, так і об'єктів зеленого господарства в цілому (*i-Tree Tools - Calculate the benefits of trees!*, 2006). Основним із них виділяється i-Tree есо. Згаданий застосунок надає можливість проводити визначення ЕП для окремих дерев та для загального переліку об'єкта урболісівництва (Nowak, 2023; Ramon et al., 2023; Steenberg et al., 2023).

За оцінками, дерева на території дослідного полігона зберігають 166 Мг вуглецю, що еквівалентно 919 тис. грн у вартісному виразі. З усіх облікованих видів гіркокаштан звичайний депонує найбільше вуглецю (33,8% від загального запасу). Поточне депонування вуглецю становить близько $4,4 \text{ Мг} \cdot \text{рік}^{-1}$, що еквівалентно 24,5 тис. грн (дод. II).

Киснепродуктивність є однією з найбільш часто згадуваних переваг міських дерев. Щорічне вироблення кисню деревом безпосередньо пов'язане з кількістю вуглецю, що поглинається останнім. За результатами дерева території дослідного полігона виробляють $11,84 \text{ т} \cdot \text{рік}^{-1}$. Однак ця користь відносно незначна через велику та відносно стабільну кількість кисню в атмосфері (Broecker, 1970).

Дерева опосередковано впливають на споживання енергії затінюючи будівлі влітку та блокуючи зимові вітри. Вони, як правило, зменшують споживання енергії в будівлі у літні місяці та можуть збільшувати або зменшувати споживання енергії будівлею в зимові місяці, залежно від розташування дерев навколо неї. Дерева, що зростають на території біля котусів №1, №2 та №3, зменшують енерговитрати на суму 26.8 тис. грн·рік⁻¹. Окрім цього, економія енергії прямо пропорційно впливає на зменшення кількості викидів вуглецю, що виділяється електростанціями, які працюють на викопному паливі ($2,29 \text{ т} \cdot \text{рік}^{-1}$). Додаткова вартість за рахунок зменшення викидів становить $12,7 \text{ тис. грн} \cdot \text{рік}^{-1}$.

Окремо варто відзначити, що i-Tree есо також виконує розрахунок показників відновної вартості. Насадження забудованої частини міста мають відновну вартість, засновану на вартості окремих дерев (вартість заміни дерева на аналогічне). За основу розрахунків цього показника слугує сумарна вартість продукованих деревними рослинами корисностей, що являє собою ключову відмінність порівняно з нормативно-правовою базою України. Значення відновної вартості демонструють тенденцію до збільшення з аналогічною тенденцією кількості та розмірів здорових дерев. Завдяки належному управлінню можна збільшити цінність об'єктів урболісівництва. Однак цінності та переваги також можуть зменшуватися в міру зменшення кількості здорового деревного покриву. Поточне значення відновної вартості дерев облікового полігона становить 15,8 млн грн.

Зважаючи на наведене вище, варто зауважити, що алгоритми розрахунку i-Tree есо використовують вартість продукованих ЕП як основу для визначення відновної вартості. В результаті отримуються загальні показники:

- кількість дерев (Number of trees): 479;
- деревний покрив (Tree Cover): 33,5%;
- переважаючі деревні види (Most common species of trees): туя західна, гіркокаштан звичайний, липа серцелиста;
- накопичення вуглецю (Carbon storage): 166,4 Мг (919 тис. грн);
- поточне поглинання вуглецю (Carbon sequestration): 4,442 Мг (24,5 тис. грн·рік⁻¹);
- поточна киснепродуктивність (Oxygen production): 11,84 т·рік⁻¹;
- збереження енергії в будівлях (Building energy savings): 26,8 тис. грн·рік⁻¹;
- уникнення викидів вуглецю (Carbon avoided): 2,291 т·рік⁻¹ (12,7 тис. грн·рік⁻¹);
- відновна вартість (Replacement values): 15,8 млн грн.

4.5. Порівняння оцінок накопиченого вуглецю за методом наближеного оцінювання екосистемних послуг та за допомогою інструменту i-Tree eco

Метод наближеного оцінювання ЕП та інструменти i-Tree eco є двома різними підходами до оцінки ЕП. Метод наближеного оцінювання ЕП полягає у визначенні вартості ЕП шляхом врахування різних факторів, таких як деревний вид, діаметр та висота дерева, тощо. Він ґрунтується на основі визначення чистої первинної продукції (Лакида et al., 2018), що у свою чергу переводить розрахунки і поняття ЕП через призму енергетичного потенціалу в площину термодинаміки (Дідух, 2007). Перевагою слід вказати гнучкість використання незалежно від рівня застосування.

Інструменти i-Tree це програмні продукти, розроблені у співпраці з лісовою службою США для автоматизованої оцінки ЕП, що продукують дерева в умовах урбанізованого середовища. За їх застосування виконати оцінювання широкого спектра ЕП залежно від кількості показників, що визначалися в процесі таксації. В основу покладено математичні моделі, що дозволяє розраховувати показники ЕП із залученням більшої кількості даних про конкретне дерево (D. Nowak & Crane, 2000). До переваг можна віднести можливість використання широким колом користувачів, включаючи балансоутримувачів об'єктів урболісівництва, громадські організації та дослідницькі установи.

Враховуючи наведені вище показники, єдиною для обох методів виділяється оцінка накопиченого вуглецю. Це дозволить порівняти кінцеві результати розрахунків методів, що спираються на середньостатистичні показники, описані регресійними рівняннями, чи математичні моделі, які спрямовані оцінити окремі рослини на основі більшої кількості біометричних показників. З цією метою проведено розрахунки депонованого вуглецю в натуральних і вартісних показниках обома методами для дослідного полігона, що включає території корпусів №1, №2, №3 і скверу «Ювілейний» та отримано наступні результати (табл. 4.15; 4.16).

**Кількісна та вартісна оцінка депонованого вуглецю хвойних дерев
території корпусів №1, №2, №3 та скверу «Ювілейний»**

Деревний вид	Депонований вуглець, Мг		Вартість депонованого вуглецю, грн	
	за методом наближеного оцінювання	за i-Tree есо	за методом наближеного оцінювання	за i-Tree есо
Кипарисовик горохоплідний	0,33	0,34	1800	1876
Плоскогілочник східний	0,09	0,16	500	859
Туя гігантська	1,03	0,54	5694	2978
Туя західна	12,22	20,46	67544	113030
Ялина європейська	0,69	0,92	3805	5109
Ялина колюча	4,14	5,01	22881	27693
Ялина сербська	0,08	0,11	445	621
Ялиця біла	0,06	0,04	345	216

Дерева хвойних видів зберігають 27,6 Мг чистого вуглецю за оцінкою i-Tree есо та 18,6 Мг за методикою наближеного оцінювання ЕП дерев, що еквівалентно 152,4 і 103,0 тис. грн відповідно. Найбільше вуглецю накопичили дерева туї західної.

Таблиця 4.16

**Кількісна та вартісна оцінка депонованого вуглецю листяних дерев
території корпусів №1, №2, №3 та скверу «Ювілейний»**

Деревний вид	Депонований вуглець, Мг		Вартість депонованого вуглецю, грн	
	за методом наближеної таксації	за i-Tree есо	за методом наближеної таксації	за i-Tree есо
Абрикос звичайний	0,21	0,72	1138	4005
Айлант найвищий	0,39	0,96	2165	5283
Береза повисла	9,28	12,27	51291	67816
Бузина чорна	0,25	0,08	1372	432
Бук лісовий	9,67	6,24	53452	34453
В'яз гладкий	0,12	0,12	664	688
В'яз шорсткий	2,82	1,93	15557	10656
Верба біла	7,2	3,17	39808	17522
Верба матсудана	0	0	25	7
Вишня домашня	0,15	0,42	840	2298

Деревний вид	Депонований вуглець, Мг		Вартість депонованого вуглецю, грн	
	за методом наближеної таксації	за i-Tree есо	за методом наближеної таксації	за i-Tree есо
Гіркокаштан звичайний	18,94	56,32	104660	311187
Глід колючий	1	0,47	5538	2611
Горіх грецький	0,16	0,34	898	1866
Горобина звичайна	0,84	0,81	4648	4462
Горобина скандинавська	0,1	0,11	548	618
Граб звичайний	3,6	1	19916	5522
Груша домашня	0,48	0,91	2656	5017
Дуб звичайний	9,07	7,57	50138	41851
Дуб червоний	0,88	1,9	4889	10519
Золотий дощ звичайний	0,22	0,09	1208	496
Катальпа бегонієвидна	3,45	2,12	19072	11696
Катальпа чудова	0,02	0	127	28
Каштан їстівний	0,02	0,01	98	52
Клен гостролистий	0,56	0,75	3109	4158
Клен несправжньо-платановий	8,1	11,26	44740	62246
Клен польовий	0,3	0,25	1680	1391
Клен татарський	0,37	0,4	2068	2200
Клен ясенелистий	0,42	0,36	2302	1970
Липа серцелиста	30,65	23,04	169352	127291
Робінія звичайна	0,71	1,2	3921	6649
Сумах оленерогий	0,53	0,18	2945	969
Черешня домашня	0,21	0,35	1142	1927
Шовковиця біла	4,17	2,49	23035	13768
Яблуна домашня	0,27	0,36	1513	2014
Яблуна Надзведського	0,57	0,5	3161	2746
Ясен звичайний	0,14	0,12	748	663

Очікувано листяні дерева демонструють вищі значення депонованого вуглецю. Сумарний обсяг знаходиться на рівні 115,9 Мг за методом наближеного оцінювання та 138,82 Мг за результатами обробки i-Tree есо. Найбільша частка вуглецю за вище згаданими методами зосереджена в деревах липи серцелистої та гіркокаштана звичайного.

Як показує аналіз наведених даних, значення загального накопиченого вуглецю дещо різняться між собою. За результатами розрахунків методом наближеного оцінювання ЕП сумарний запас становить 134,5 Мг, а i-Tree есо – 166,4 Мг. Показники вартості депонованого вуглецю знаходяться на рівні 743,4 тис.грн за методикою наближеного оцінювання ЕП та 919,5 тис.грн у результаті обробки i-Tree есо. Різниця показників досягає 24%. Значення коефіцієнта кореляції Пірсона між результатами оцінки становить 0,8, що вказує на наявність тісного зв'язку між показниками, із значенням коефіцієнта детермінації – 0,63. Для повнішого розуміння узгодженості отриманих результатів доцільно провести графічний аналіз отриманих даних (рис. 4.7).

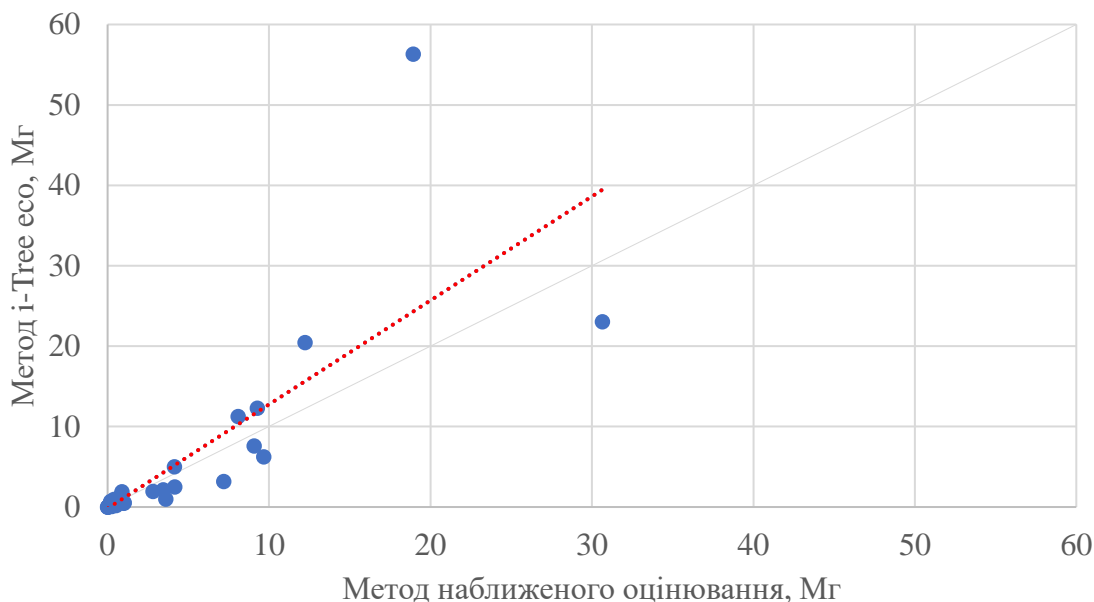


Рис. 4.7. Графічна інтерпретація розрахунку накопиченого вуглецю

Результати розрахунків за обома методами переважно рівномірно розсіяні, окрім значення для гіркокаштана звичайного. Для дерев цього виду спостерігається значне перевищення за результатами розрахунків інструментарію i-Tree есо. У свою чергу це створює загальну тенденцію до завищення результатів. Однак, при виключенні результатів розрахунків для гіркокаштана звичайного, коефіцієнт кореляції набуває значення 0,92, а коефіцієнт детермінації – 0,85, що слугує доказом узгодженості загальних оцінок накопиченого вуглецю за двома методами. Проте отримані результати

розрахунків для гіркокаштана звичайного можуть бути наслідком та свідченням використання місцевих північноамериканських або усереднених моделей глобального рівня. Адже для розрахунків методом наближеного оцінювання ЕП використовували моделі об'єму дерева гіркокаштана звичайного для забудованої частини міста (Леснік, 2020), що покладені в основу лісотаксаційного довідника (Білоус et al., 2021), та значення щільності деревини гіркокаштана звичайного (Білоус et al., 2023).

Обидва способи розрахунку ЕП можуть мати практичне використання. Зокрема i-Tree есо є спеціалізованою програмою для розрахунку ЕП дерев урбосередовища забудованої частини міста та надає значні можливості для розрахунку великої кількості корисностей, що продукують міські екосистеми. Водночас вищезазначений приклад гіркокаштана звичайного демонструє необхідність детальних досліджень точності розрахунків та можливості застосування в умовах України. Окрім цього, потреба збору великої кількості таксаційних показників одного дерева, а також необхідність залучення різнопланових фахівців потребує збільшення часу виконання польових досліджень та підвищує їхню вартість.

Метод наближеного оцінювання ЕП дерев не вимагає встановлення значної кількості показників. У питаннях визначення приростів та поточної продуктивності ЕП може вважатися точнішим, адже покладається на дані дендрохронологічного аналізу поточного приросту. Проте в загальному точність отриманих результатів може накопичувати помилки кожного з етапів розрахунку. Разом із тим, можливе використання цієї методики не лише на місцевому, а й на вищих рівнях через здатність поєднання з вибірково-статистичними методами таксації.

Висновки до розділу 4

1. Оцінка ЕП дерев та їхньої економічної вартості відіграє ключову роль в обґрунтуванні значення як екологічних, так і економічних ресурсів, тобто дозволяє усвідомити цінність безпосереднього впливу вимірних та

невимірних ЕП дерев урбосередовища через призму ресурсного потенціалу в межах урбоценозів. Вона може бути покладена в основу визначення балансової та відновної вартості об'єктів урболісівництва.

2. Накопичення фітомаси в компонентах дерев урбосередовища демонструють нерівномірний розподіл. Найвище значення фітомаси зафіксовано в стовбуровій частині – 46,2 % від загального обсягу, що очікувано значно менше, ніж у дерев лісових насаджень. Серед інших компонент, вагома частка належить гілкам – 1,3 тис. т (45 % від загального обсягу фітомаси насаджень). Зі збільшенням віку дерев частка фітомаси стовбура зменшується, тоді як частка фітомаси гілок зростає.

3. Процеси депонування вуглецю, киснепродуктивності та накопичення енергії найактивніше протікають в деревних рослинах групи віку 15-50 років, однак максимальне накопичення й утримання вуглецю та енергії притаманне для дерев віком понад 50 років. Найінтенсивніший поточний приріст показників ЕП спостерігається для дерев роду Тополя.

4. Деревна рослинність території НУБіП України в межах Голосіївського району (без урахування дерев Ботанічного саду) забезпечує поглинання п'ятої частини емісії вуглецю за наслідками функціонування університету в сукупності усіх підрозділів на всій території України, що сприяє сталому розвитку університетського середовища.

5. Для оцінки ЕП дерев урбосередовища метод наближеного оцінювання ЕП гнучкіший за рахунок можливості використання видів-замінників та потребує відносно невеликого обсягу таксаційних показників, може бути використаний для досліджень на різних рівнях, однак застосування видів-замінників потребує додаткового обґрунтування. До недоліків слід віднести відсутність значної частки розроблених нормативів для таксації дерев урбосередовища.

6. Інструментарій i-Tree есо надає можливості для автоматизованого оцінювання великої кількості ЕП широкому колу зацікавлених сторін, проте для отримання повної оцінки вимагає значного

обсягу вихідних даних, що негативно впливає на витрати часу польового етапу інвентаризації об'єктів урболісівництва.

7. Порівняння двох підходів методу наближеного оцінювання ЕП та інструменту i-Tree есо засвідчив узгодженість загального результату оцінки депонованого вуглецю, але виявлено необхідність адаптації моделей i-Tree есо, покладених в основу розрахунків, для підвищення точності оцінювання.

Матеріали розділу опубліковані у працях (Білоус і Макаревич 2021; Макаревич 2021; 2023а; 2023б; Білоус і Макаревич 2024)

ВИСНОВКИ

1. Швидкий процес урбанізації вимагає розробки та впровадження стратегій урболісівництва для ефективного управління містами як на місцевому, так і на глобальному рівні в контексті сталого розвитку. Ці стратегії мають залучати до активної участі громадськість та регулярно оцінюватися і коригуватися згідно з потребами та обставинами міста. Також гостро постає питання недостатнього рівня озеленення у більшості великих міст України та світі загалом. Програми розвитку зеленої інфраструктури у великих українських містах на засадах природоорієнтованих рішень є важливим кроком у цьому напрямі, проте їх ефективність вимагає подальшого моніторингу та коригування для досягнення оптимальних результатів діяльності.

2. Враховуючи позитивний вплив об'єктів урболісівництва на поліпшення загальної якості життя мешканців міст оцінка ЕП дерев відіграє ключову роль в обґрунтуванні значення не лише екологічних, а й економічних активів, тобто дозволяє усвідомити цінність безпосереднього впливу вимірних та невимірних ЕП дерев, а тому є важливим фактором для встановлення відновної вартості об'єктів зеленої інфраструктури.

3. Належну точність і швидкість визначення середнього діаметра багатостовбурних дерев може забезпечити розроблений спосіб, який передбачає визначення середнього діаметра на основі обміру окомірно ідентифікованих найбільшого, наближеного до середнього та найменшого стовбурів.

4. Порівняння різних висотомірів дозволило оцінити їхню точність та виявити переваги та недоліки приладів. Застосування як механічних, так і електронних тригонометричних висотомірів, що в основі спираються на властивості тангенса прямокутного трикутника, забезпечує задовільну точність визначення висоти дерева, яка не перевищує 5% похибки. Разом з тим, для потреб інвентаризації об'єктів урболісівництва SUUNTO PM 5 може гарантувати достатню точність порівняно з дороговартісними лазерними

висотомірами-далекомірами. Прилади, що працюють за принципом властивостей синуса прямокутного трикутника, в умовах урбанізованого середовища показали заниження висоти дерев, що унеможливило отримання достовірної інформації.

5. Під час проведення інвентаризації об'єктів урболісівництва доцільно використовувати площу поперечного перерізу стовбура на рівні ґрунту як площу дерева для визначення балансу площі інвентаризаційної ділянки. Використання балансу площі з урахуванням площі перерізу дерев дозволяє усунути невідповідність в оцінюванні структури площі насаджень.

6. Видове різноманіття, вік дерев і якісний стан, що залежить від якості догляду за ними, впливають на поточне продукування ЕП. Інтенсивне поглинання вуглецю та продукування кисню в найкоротші терміни забезпечують швидкорослі деревні види. Однак завдання довготривалого депонування вуглецю краще виконують деревні види з більшим віком природної стиглості. Продуктивність ЕП вища у насадженнях з добрим якісним станом дерев.

7. Деревя урбосередовища території НУБіП України у межах Голосіївського району (без урахування дерев Ботанічного саду) забезпечують поглинання п'ятої частини емісії вуглецю за наслідками функціонування університету в сукупності усіх підрозділів на всій території України, що сприяє сталому розвитку університетського середовища.

8. Метод наближеного оцінювання ЕП гнучкий і вимагає невеликого обсягу таксаційних показників для оцінки ЕП дерев урбосередовища, однак він потребує адаптації нормативів для таксації дерев у забудованих частинах міста.

9. Інструментарій i-Tree есо забезпечує можливість автоматизованої оцінки великої кількості ЕП дерев урбосередовища, але вимагає значного обсягу вихідних даних, що може збільшити час, необхідний для польового етапу інвентаризації.

10. Порівняння методів наближеного оцінювання ЕП та інструменту i-Tree есо показало подібність загальних результатів оцінки депонованого вуглецю, але виявлено необхідність адаптації моделей i-Tree есо для підвищення точності оцінювання.

ПРОПОЗИЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ

Під час проведення таксації багатостовбурних дерев із розгалуженням стовбурів до висоти 1,3 м фіксувати середнє значення діаметра та кількість стовбурів. Для дерев аз понад трьома стовбурами визначення середнього діаметра здійснювати на основі обміру візуально ідентифікованих найбільшого, найменшого та наближеного до середнього стовбурів.

У процесі виконання інвентаризації об'єктів урболісівництва доцільно використовувати площу поперечного перерізу стовбура на рівні ґрунту як площу дерева.

Під час проектування насаджень урбосередовища слід комплексно враховувати очікувану продуктивність ЕП дерев залежно від поставленого завдання.

Інтегрувати вартісні показники ЕП у методику розрахунку балансової та відновної вартості об'єктів урболісівництва. З метою підвищення продукування ЕП необхідно організувати системний догляд за деревами та забезпечити добрий їхній якісний стан.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- Аналіз стану сфери зеленого господарства за 2022 рік.* (2022). Міністерство інфраструктури України. <http://mtu.gov.ua/news/34289.html>
- Артамонов, Б. Б. (2013). Аналіз впливу мікрокліматичних зон на процеси кліматоутворення у містах в умовах глобальної зміни клімату. *Науковий вісник НЛТУ України, 13*, 133–137.
- Бідолах, Д. І. (2020). *Теоретико-методологічні та технологічні засади впорядкування зелених насаджень в населених пунктах України.* Національний університет біоресурсів і природокористування України.
- Бідолах, Д. І., Васишин, Р. Д., Миронюк, В. В., Кузьович, В. С., & Підховна, С. М. (2023). Оцінювання екосистемних послуг зелених насаджень з використанням інструменту i-Tree Eco. *Науковий вісник НЛТУ України, 33(2), Article 2.* <https://doi.org/10.36930/40330201>
- Білоус, А. М. (2020). *Методика оцінювання екосистемних послуг дерев у садово-паркових об'єктах.* 24–25.
- Білоус, А. М., Кашпор, С. М., Миронюк, В. В., Свинчук, В. А., & Леснік, О. М. (2020). *Лісотаксаційний довідник.* ЛПРА.
- Білоус, А. М., Кашпор, С. М., Миронюк, В. В., Свинчук, В. А., & Леснік, О. М. (2021). *Лісотаксаційний довідник.* Видавничий дім «Вініченко».
- Білоус, А. М., & Макаревич, А. М. (2021). *Методика оцінювання екосистемних послуг дерев у міському середовищі.* 28.

- Білоус, А. М., & Макаревич, А. М. (2024). *Екосистемні послуги зелених насаджень НУБіП України*. 23.
- Білоус, А. М., Макаревич, А. М., Задорожнюк, Р. М., Свинчук, В. А., Миронюк, В. В., & Мацала, М. С. (2024). *Особливості визначення середнього діаметра багатостовбурних дерев*. 32–36.
- Білоус, А. М., Миронюк, В. В., Леснік, О. М., & Макаревич, А. М. (2023). *Спосіб таксації надземної фітомаси дерев, що ростуть в умовах урбанізованого середовища* (Patent 153596). (<https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1749978/>)
- Василишин, Р. Д. (2007). *Продуктивність та надземна фітомаса лісостанів ялиці білої в Українських Карпатах*.
- Василишин, Р. Д., Лакида, І. П., Василишин, І. О., & Дячук, В. П. (2021). *Особливості формування первинної продукції лісів Карпатського НПП у різних лісорослинних умовах*. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*, 22, Article 22. <https://doi.org/10.15421/412110>
- Василишин, Р. Д., Слюсарчук, В. В., & Лакида, І. П. (2019). *Енергетична функція букових лісів буковинського передкарпаття*. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry*, 45, 59–64. <https://doi.org/10.36930/42194509>
- Гатальська, Н. В. (2020). *Естетичне сприйняття композиційної структури паркового середовища | Сучасні проблеми Архітектури та Містобудування*. <http://archinform.knuba.edu.ua/article/view/199159>

- Горошко, М. П., Миклуш, С. І., & Хомюк, П. Г. (2004). *Біометрія: Навчальний посібник*. Камула.
- ДБН Б.2.2-12:2019 «Планування і забудова територій». (2019).
https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/b_2_2_12/1-1-0-1802
- Державна служба статистики України. (2022).
http://db.ukrcensus.gov.ua/PXWEB2007/ukr/news/op_popul.asp
- Дідух, Я. (2007). Енергетичні проблеми екосистем і забезпечення сталого розвитку України. *Вісник Національної академії наук України*, 4, 3–12.
- Дідух, Я. П., & Альошкіна, У. М. (2007). Оцінка енергетичного балансу екосистем м. Києва та його зеленої зони. *Український фітоценологічний збірник*, 25, 48–56.
- Зібцева, О. В. (2020). *Концептуальні основи систем зелених насаджень малих міст Київщини в контексті екозбалансованого розвитку*. Національний університет біоресурсів і природокористування України.
- Инструкция по инвентаризации зеленых насаждений, утвержденная Главным управлением благоустройства МКХ РСФСР (1957).
- Інструкція з інвентаризації зелених насаджень у населених пунктах України, 226 (2001). <https://zakon.rada.gov.ua/go/z0182-02>
- Калініченко, О. (2003). *Декоративна дендрологія*. Вища школа.
- Лакида, П. І., Васишин, Р. Д., & Лакида, І. П. (2018). Біопродуктивність лісових фітоценозів України в умовах глобальних викликів. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*, 45, 169–173.
<https://doi.org/10.15421/411623>

- Лакида, П. І., Васишин, Р. Д., Лашенко, А. Г., & Терентьев, А. Ю. (2011). *Нормативи оцінки компонентів надземної фітомаси дерев головних лісотвірних порід України*. Видавничий дім «ЕКО-інформ».
- Лановенко, О. Г., & Остапішина, О. О. (2018). *Словник – довідник з екології Навчально-методичний посібник*.
<https://web.archive.org/web/20180619190047/http://ekhsuir.kspu.edu/bitstream/123456789/1563/1/%D0%A1%D0%9B%D0%9E%D0%92%D0%9D%D0%98%D0%9A%20E2%80%93%D0%94%D0%9E%D0%92%D0%86%D0%94%D0%9D%D0%98%D0%9A.pdf>
- Леснік, О. М., & Гірс, О. А. (2015). Аналіз забезпечення населення міста Києва зеленими насадженнями. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Лісівництво та декоративне садівництво*, 216(1), 15–21.
- Леснік, О. М. (2020). Повнодеревність та об'єм стовбурів дерев гіркокаштана звичайного у насадженнях міста Києва. *Scientific Journal Ukrainian Journal of Forest & Wood Science*, 11(2).
https://forestsscience.com.ua/web/uploads/pdf/Ukrainian%20journal%20of%20forest%20and%20wood%20science_Vol.%2011,%20No.%202_32-39.pdf
- Макаревич, А. М. (2021). *Проблеми інвентаризації зелених насаджень забудованої частини міста*. 66–67.
https://nubip.edu.ua/sites/default/files/u184/tezi_dopovidey_mizhнародna_konferenciya_ekosistemni_poslugi_lisiv_ta_urbolandshaftiv_sayt.pdf

- Макаревич, А. М. (2022а). *Інвентаризація зелених насаджень в Україні: Недоліки та передумови вирішення*. 85.
https://uriffm.org.ua/media/uploads/2022/10/21/tezy2022_uriffm_AhV8GID.pdf
- Макаревич, А. М. (2022b). *Особливості видового складу зелених насаджень НУБіП України*. 57.
- Макаревич, А. М. (2023а). *Вікова структура зелених насаджень*. 58.
- Макаревич, А. М. (2023b). *Сучасний стан озеленених територій НУБіП України*. 40.
- Макаревич, А. М., & Білоус, А. М. (2024). Точність вимірювання висоти дерев різними висотомірами у міському середовищі. *Науковий вісник НЛТУ України*, 34(1), Article 1. <https://doi.org/10.36930/40340105>
- Миронюк, В. В., & Свинчук, В. А. (2012). Методичні основи обліку міських зелених насаджень із використанням супутникових знімків різного просторового розрізнення. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Сер. : Лісівництво та декоративне садівництво*, 171(2), 75–82.
- Миронюк, В. В., & Свинчук, В. А. (2016). *Лісова таксація: Конспект лекцій для студентів напряму підготовки: 6.090103 – «Лісове і садово-паркове господарство»* (видання друге, доп.). Вид-во НУБіП України.
- Миронюк, В. В., Свинчук, В. А., Білоус, А. М., & Васишин, Р. Д. (2019). *Лісова таксація: Навчальний посібник*. НУБіП України.

Півень, Є. С., & Колесніченко, О. В. (2022). *Оцінка норм озеленення у містах України та країн світу*. 68–69.

Пояснювальна записка до проекту закону України «Про зелені насадження міст та інших населених пунктів». (2015).

<https://ips.ligazakon.net/document/view/GH1JX68B>

Правила утримання зелених насаджень у населених пунктах України. (2006).

Офіційний вебпортал парламенту України.

<https://zakon.rada.gov.ua/go/z0880-06>

Про затвердження Міської програми заміни аварійних, сухостійних, уражених омелою дерев та дерев, які досягли вікової межі, на період 2015-2019 рр., Харківська міська рада. 35 (2014).

<http://kharkiv.rocks/reestr/636319>

Про затвердження Міської цільової програми розвитку та збереження зелених насаджень м. Одеси на 2017 - 2020 роки, Одеська міська рада (2020). <https://ips.ligazakon.net/document/view/od170048>

Проект Програми розвитку зелених зон м. Києва. (2021, Липень 5).

Київзеленбуд. <http://kyivzelenbud.com/news/proyek-programy-rozvytku-zelenyh-zon-m-kyyeva/>

Рамкова конвенція Організації Об'єднаних Націй про зміну клімату. (1996).

Офіційний вебпортал парламенту України.

https://zakon.rada.gov.ua/go/995_044

Реєстр об'єктів, які справляють шкідливий вплив. (2024).

<https://eco.gov.ua/reyestr-obyektiv-yaki-spravlyayut-shkidlivij-vpliv>

Сергієнко, Л. В. (2022). *Державна політика забезпечення безпеки урбанізованих територій.*

<https://nuczu.edu.ua/images/topmenu/science/spetsializovani-vcheni-rady/disSerhiienko.pdf>

Сірук, І. М., & Сірук, Ю. В. (2024). Вплив лісогосподарської діяльності на ландшафтно-рекреаційні показники лісових ділянок лісопаркової частини лісів зеленої зони Житомира. *Науковий вісник НЛТУ України*, 34(2), Article 2. <https://doi.org/10.36930/40340204>

Токар, О. Є., Король, М. М., & Густі, М. І. (2021). Оцінювання запасів вуглецю у фітомасі лісових насаджень заповідних територій Українських Карпат. *Науковий вісник НЛТУ України*, 31(5), Article 5. <https://doi.org/10.36930/40310506>

Ухвала №3629 від 27.06.2018 (2018). [https://www8.city-adm.lviv.ua/inTEAM/Uhvaly.nsf/\(SearchForWeb\)/7A367B964B85C64AC22582C500314E4D?OpenDocument](https://www8.city-adm.lviv.ua/inTEAM/Uhvaly.nsf/(SearchForWeb)/7A367B964B85C64AC22582C500314E4D?OpenDocument)

Фещенко, Р. О. (2024). *Екосистемні функції лісових насаджень паркунам'ятки садово-паркового мистецтва «Феофанія».* Національний університет біоресурсів і природокористування України.

Цілі сталого розвитку. (2024). UNDP. <https://www.undp.org/uk/ukraine/tsilistaloho-rozvytku>

Швиденко, А. З., Лакида, П. І., Щепашенко, Д. Г., Васишин, Р. Д., & Марчук, Ю. М. (2014). *Вуглець, клімат та землеуправління в Україні: Лісовий сектор: Монографія.* ФОП В. М. Гаврищенко.

- Anderegg, W. R., Prall, J. W., Harold, J., & Schneider, S. H. (2010). Expert credibility in climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *107*(27), 12107–12109. <https://doi.org/10.1073/pnas.1003187107>
- Bidolakh, D. I. (2023). Assessment of ecosystem functions of green spaces as an important component of their inventory in the context of sustainable development of urban landscapes. *Ukrainian Journal of Forest and Wood Science*, *14*(1). <https://doi.org/10.31548/forest/1.2023.08>
- Bidolakh, D. I., Bilous, A. M., & Kuziovych, V. S. (2019). The accuracy of measuring the height of trees with the use of a quadrocopter. *Ukrainian Journal of Forest and Wood Science*, *10*(3), 19–26. <https://doi.org/10.31548/forest2019.03.019>
- Bidolakh, D. I., Bilous, A. M., & Kuzyovych, V. S. (2018). Measurement of the tree and shrub height with the help of unmanned aerial vehicles. *Scientific Bulletin of UNFU*, *28*(1), 24–27. <https://doi.org/10.15421/40280104>
- Bilous, A. M., Diachuk, P. P., Zadorozhniuk, R. M., Matsala, M. S., & Burianchuk, M. M. (2021). Accuracy of selected methods of measurement of tree heights. *Ukrainian Journal of Forest and Wood Science*, *12*(1), 6–16. <https://doi.org/10.31548/forest2021.01.001>
- Bilous, A., Myroniuk, V., Holiaka, D., Bilous, S., See, L., & Schepaschenko, D. (2017). Mapping growing stock volume and forest live biomass: A case study of the Polissya region of Ukraine. *Environmental Research Letters*, *12*(10), 105001. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa8352>

- Bilous, A., Myroniuk, V., Svynchuk, V., Kashpor, S., & Lesnik, O. (2022). Stem volume by height classes of immature, mature and overmature stands of the main forest-forming species of Ukraine. *Ukrainian Journal of Forest and Wood Science*, 3(13), Article 13(3).
[https://doi.org/10.31548/forest.13\(3\).2022.7-12](https://doi.org/10.31548/forest.13(3).2022.7-12)
- Bilous, A., Zadorozhniuk, R., Makarevych, A., Svynchuk, V., Lashko, A., Bilous, M., Myroniuk, V., & Matsala, M. (2024). Sampling Protocol for Measuring Mean Diameter at Breast Height of Forked Urban Trees. *Forests*, 15(3), 458. <https://doi.org/10.3390/f15030458>
- Blackwell, B., Green R. N., Bains, B., & Needoba, A. (2014). *City of London Urban Forest Strategy—Enhancing the Forest City*.
<https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3951.5284>
- Broecker, W. S. (1970). Man's Oxygen Reserves. *Science*, 168(3939), 1537–1538.
<https://doi.org/10.1126/science.168.3939.1537>
- Butlin, J. (1989). Our common future. By World commission on environment and development. (London, Oxford University Press, 1987, pp.383 £5.95.).
Journal of International Development, 1(2), 284–287.
<https://doi.org/10.1002/jid.3380010208>
- Cook, J., Nuccitelli, D., Green, S. A., Richardson, M., Winkler, B., Painting, R., Way, R., Jacobs, P., & Skuce, A. (2013). Quantifying the consensus on anthropogenic global warming in the scientific literature. *Environmental Research Letters*, 8(2), 024024. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/8/2/024024>

- Das, S., Sun, Q. (Chayn), & Zhou, H. (2022). GeoAI to implement an individual tree inventory: Framework and application of heat mitigation. *Urban Forestry & Urban Greening*, 74, 127634. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2022.127634>
- Degerickx, J., Hermy, M., & Somers, B. (2017). Mapping functional urban green types using hyperspectral remote sensing. *2017 Joint Urban Remote Sensing Event (JURSE)*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/JURSE.2017.7924553>
- Deng, J. S., Wang, K., Hong, Y., & Qi, J. G. (2009). Spatio-temporal dynamics and evolution of land use change and landscape pattern in response to rapid urbanization. *Landscape and Urban Planning*, 92(3), 187–198. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2009.05.001>
- Diachuk, P. P. (2022). Determination of tree height according to data of raster images different resolution. *Ukrainian Journal of Forest and Wood Science*, 11(3), 15–24.
- Edgar, C. B., Nowak, D. J., Majewsky, M. A., Lister, T. W., Westfall, J. A., & Sonti, N. F. (2021). Strategic National Urban Forest Inventory for the United States. *Journal of Forestry*, 119(1), 86–95. <https://doi.org/10.1093/jofore/fvaa047>
- European Tree Assessment Standard (First Draft)*. (2023). <https://files.site.forpsi.com/a6/49/a649b734-7d2d-423e-a5a1-3b2e9f8c0604.pdf>
- Global Forest Resources Assessment 2020*. (2020). FAO. <https://doi.org/10.4060/ca9825en>

- Grimmond, C. S. B., King, T. S., Cropley, F. D., Nowak, D. J., & Souch, C. (2002). Local-scale fluxes of carbon dioxide in urban environments: Methodological challenges and results from Chicago. *Environmental Pollution (Barking, Essex: 1987)*, *116 Suppl 1*, S243-254. [https://doi.org/10.1016/s0269-7491\(01\)00256-1](https://doi.org/10.1016/s0269-7491(01)00256-1)
- Guarini, M., Nesticò, A., Morano, P., & Sica, F. (2019). *A Multicriteria Economic Analysis Model for Urban Forestry Projects* (c. 564–571). https://doi.org/10.1007/978-3-319-92099-3_63
- <https://cices.eu/>. (2024). <https://cices.eu/>
- Hutyra, L. R., Yoon, B., & Alberti, M. (2011). Terrestrial carbon stocks across a gradient of urbanization: A study of the Seattle, WA region. *Global Change Biology*, *17*(2), 783–797. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2010.02238.x>
- Identify, explore and share your observations of wild plants*. (2014). <https://identify.plantnet.org/uk>
- Israel, R., & Alo, A. (2023). *Geodatabase and Health Risk Assessment of Avenue Trees within Three Selected Roads in the University of Ibadan, Ibadan, Nigeria* [Preprint]. Environmental and Earth Sciences. <https://doi.org/10.20944/preprints202307.1161.v1>
- i-Tree Tools—Calculate the benefits of trees!* (2006). <https://www.itreetools.org/>
- Jurjević, L., Liang, X., Gašparović, M., & Balenović, I. (2020). Is field-measured tree height as reliable as believed – Part II, A comparison study of tree height estimates from conventional field measurement and low-cost close-range remote sensing in a deciduous forest. *ISPRS Journal of*

Photogrammetry and Remote Sensing, 169, 227–241.

<https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2020.09.014>

Lahoti, S., Lahoti, A., Joshi, R. K., & Saito, O. (2020). Vegetation Structure, Species Composition, and Carbon Sink Potential of Urban Green Spaces in Nagpur City, India. *Land*, 9(4), Article 4. <https://doi.org/10.3390/land9040107>

Larjavaara, M., & Muller-Landau, H. C. (2013). Measuring tree height: A quantitative comparison of two common field methods in a moist tropical forest. *Methods in Ecology and Evolution*, 4(9), 793–801. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12071>

Laser Technology Inc. (2017). *LTI TruPulse 360/360B User's Manual*.

Lesiv, M., Shvidenko, A., Schepaschenko, D., See, L., & Fritz, S. (2019). A spatial assessment of the forest carbon budget for Ukraine. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 24(6), 985–1006. <https://doi.org/10.1007/s11027-018-9795-y>

Luoma, V., Saarinen, N., Wulder, M., White, J., Vastaranta, M., Holopainen, M., & Hyypä, J. (2017). Assessing Precision in Conventional Field Measurements of Individual Tree Attributes. *Forests*, 8(2), 38. <https://doi.org/10.3390/f8020038>

Masalskiy, V. P., & Kuznetsov, S. I. (2018). Вплив паркових насаджень на температурний режим урбанізованого середовища. *Науковий вісник НЛТУ України*, 28(7), Article 7. <https://doi.org/10.15421/40280710>

- Mcdonald, R., Biswas, T., Sachar, C., Housman, I., Boucher, T., Balk, D., Nowak, D., Spotswood, E., Stanley, C., & Leyk, S. (2021). The tree cover and temperature disparity in US urbanized areas: Quantifying the association with income across 5,723 communities. *PloS one*, *16*, e0249715. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0249715>
- McKinney, M. L. (2008). Effects of urbanization on species richness: A review of plants and animals. *Urban Ecosystems*, *11*(2), 161–176. <https://doi.org/10.1007/s11252-007-0045-4>
- Melnyk, Y. A., Hrynyk, H. H., & Hrynyk, O. M. (2019). Підсумки інвентаризації зелених насаджень дендропарку «Поділля» міста Хмельницький. *Науковий вісник НЛТУ України*, *29*(7), Article 7. <https://doi.org/10.15421/40290720>
- Misni, A., Jamaluddin, S., & Kamaruddin, S. M. (2015). Carbon sequestration through urban green reserve and open space. *PLANNING MALAYSIA*, *13*. <https://doi.org/10.21837/pm.v13i5.142>
- Nations, U. (2018). *2018 Revision of World Urbanization Prospects*. United Nations; United Nations. <https://www.un.org/en/desa/2018-revision-world-urbanization-prospects>
- Nelson, W. A. (2008). Statistical Methods. В *Encyclopedia of Ecology* (с. 3350–3362). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-008045405-4.00661-3>
- Nemitz, E., Hargreaves, K. J., McDonald, A. G., Dorsey, J. R., & Fowler, D. (2002). Micrometeorological measurements of the urban heat budget and

- CO₂ emissions on a city scale. *Environmental Science & Technology*, 36(14), 3139–3146. <https://doi.org/10.1021/es010277e>
- Nielsen, A., Ostberg, J., & Delshammar, T. (2014). Review of Urban Tree Inventory Methods Used to Collect Data at Single-Tree Level. *Arboriculture and Urban Forestry*, 40, 96–111. <https://doi.org/10.48044/jauf.2014.011>
- Nowak, D. (2006). Institutionalizing urban forestry as a “biotechnology” to improve environmental quality. *Urban Forestry & Urban Greening*, 5, 93–100. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2006.04.002>
- Nowak, D., & Aevermann, T. (2019). Tree compensation rates: Compensating for the loss of future tree values. *Urban Forestry & Urban Greening*, 41. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2019.03.014>
- Nowak, D., Bodine, A., III, R., Ellis, A., Hirabayashi, S., Coville, R., Sonti, N., Hallett, R., Johnson, M., Stephan, E., Taggart, T., Endreny, T., & Auyeung, N. (2018). *The Urban Forest of New York City*. <https://doi.org/10.2737/NRS-RB-117>
- Nowak, D., & Crane, D. (2000). The Urban Forest Effects (UFORE) Model: Quantifying urban forest structure and functions’, in Integrated tools for natural resources inventories in the 21st century. *Proc. IUFRO Conference*, 714–720.
- Nowak, D., Crane, D., Stevens, J., Hoehn, R., Walton, J., & Bond, J. (2008). A Ground-Based Method of Assessing Urban Forest Structure and Ecosystem Services. *Arboriculture & Urban Forestry*, 34. <https://doi.org/10.48044/jauf.2008.048>

- Nowak, D., Greenfield, E., & Ellis, A. (2022). Assessing Urban Forest Threats across the Conterminous United States. *Journal of Forestry*, 120. <https://doi.org/10.1093/jofore/fvac019>
- Nowak, D. J. (2023). Improved Air Quality and Other Services from Urban Trees and Forests. В В. R. Bakshi (Ред.), *Engineering and Ecosystems* (с. 215–245). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-031-35692-6_10
- Nowak, D. J., Hoehn, R., & Crane, D. E. (2007). Oxygen Production by Urban Trees in the United States. *Arboriculture & Urban Forestry (AUF)*, 33(3), 220–226. <https://doi.org/10.48044/jauf.2007.026>
- Oleksiichenko, N., & Gatal'ska, N. (2017). Теоретичні аспекти функціонального призначення парків як основа для формування підходів до оцінювання естетичних якостей паркового середовища. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*, 73–81. <https://doi.org/10.15421/411709>
- Oleksiichenko, N., & Mavko, M. (2019). The peculiarities of assessment and formation of functional coloring of the Taras Shevchenko Park in Kyiv. *Ukrainian Journal of Forest and Wood Science*, 10, 91–102. <https://doi.org/10.31548/forest2019.02.091>
- Pataki, D. E., Carreiro, M. M., Cherrier, J., Grulke, N. E., Jennings, V., Pincetl, S., Pouyat, R. V., Whitlow, T. H., & Zipperer, W. C. (2011). Coupling biogeochemical cycles in urban environments: Ecosystem services, green solutions, and misconceptions. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 9(1), 27–36. <https://doi.org/10.1890/090220>

- Qiu, Z., Feng, Z., Song, Y., Li, M., & Zhang, P. (2020). Carbon sequestration potential of forest vegetation in China from 2003 to 2050: Predicting forest vegetation growth based on climate and the environment. *Journal of Cleaner Production*, 252, 119715. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119715>
- Raciti, S. M., Hutryra, L. R., Rao, P., & Finzi, A. C. (2012). Inconsistent definitions of «urban» result in different conclusions about the size of urban carbon and nitrogen stocks. *Ecological Applications*, 22(3), 1015–1035.
- Rahman, M. A., Hartmann, C., Moser-Reischl, A., von Strachwitz, M. F., Paeth, H., Pretzsch, H., Pauleit, S., & Rötzer, T. (2020). Tree cooling effects and human thermal comfort under contrasting species and sites. *Agricultural and Forest Meteorology*, 287, 107947. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2020.107947>
- Ramon, M., Ribeiro, A. P., Theophilo, C. Y. S., Moreira, E. G., De Camargo, P. B., De Bragança Pereira, C. A., Saraiva, E. F., Dos Reis Tavares, A., Dias, A. G., Nowak, D., & Ferreira, M. L. (2023). Assessment of four urban forest as environmental indicator of air quality: A study in a brazilian megacity. *Urban Ecosystems*, 26(1), 197–207. <https://doi.org/10.1007/s11252-022-01296-7>
- Rohovskyi, S., Oleschko, O., Jychareva, K., Strunynska, J., & Kolotnicka, O. (2021). Сучасні проблеми інвентаризації рослин у міських насадженнях і досвід їх вирішення. *Scientific Bulletin of UNFU*, 31, 60–66. <https://doi.org/10.36930/40310509>

- Rossi, L., Menconi, M. E., Grohmann, D., Brunori, A., & Nowak, D. J. (2022). Urban Planning Insights from Tree Inventories and Their Regulating Ecosystem Services Assessment. *Sustainability*, 14(3), Article 3. <https://doi.org/10.3390/su14031684>
- Shi, T., Pan, X., Gao, C., & Sun, J. (2013). *Study on the capability to oxygen release of urban green space*. 29, 349–354.
- Solecki, W. D., Rosenzweig, C., Parshall, L., Pope, G., Clark, M., Cox, J., & Wiencke, M. (2005). Mitigation of the heat island effect in urban New Jersey. *Global Environmental Change Part B: Environmental Hazards*, 6(1), 39–49. <https://doi.org/10.1016/j.hazards.2004.12.002>
- Solonenko, A. M., Podorozhniy, S. M., Bren, O. G., Siruk, I. M., & Zhukov, O. V. (2021). Effect of stand density and diversity on the tree ratio of height to diameter relationship in the park stands of southern Ukraine. *Ecologia Balkanica*, 2(13), Article 13.
- Steenberg, J. W. N., Ristow, M., Duinker, P. N., Lapointe-Elmrabti, L., MacDonald, J. D., Nowak, D. J., Pasher, J., Flemming, C., & Samson, C. (2023). A national assessment of urban forest carbon storage and sequestration in Canada. *Carbon Balance and Management*, 18(1), 11. <https://doi.org/10.1186/s13021-023-00230-4>
- Stereńczak, K., Mielcarek, M., Wertz, B., Bronisz, K., Zajączkowski, G., Jagodziński, A. M., Ochał, W., & Skorupski, M. (2019). Factors influencing the accuracy of ground-based tree-height measurements for major European

tree species. *Journal of Environmental Management*, 231, 1284–1292.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.09.100>

Strohbach, M. W., Arnold, E., & Haase, D. (2012). The carbon footprint of urban green space—A life cycle approach. *Landscape and Urban Planning*, 104(2), 220–229. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2011.10.013>

Tan, X., Hirabayashi, S., & Shibata, S. (2021). Estimation of Ecosystem Services Provided by Street Trees in Kyoto, Japan. *Forests*, 12, 311.
<https://doi.org/10.3390/f12030311>

Teshnehdel, S., Akbari, H., Di Giuseppe, E., & Brown, R. D. (2020). Effect of tree cover and tree species on microclimate and pedestrian comfort in a residential district in Iran. *Building and Environment*, 178, 106899.
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.106899>

The State of the World's Forests 2022. (2022). FAO.
<https://doi.org/10.4060/cb9360en>

Tree Benefits! | i-Tree. (2006). <https://www.itreetools.org/>

Urban Forest Strategy – City of Melbourne. (2012).
<http://www.melbourne.vic.gov.au/community/greening-the-city/urban-forest/Pages/urban-forest-strategy.aspx>

Vasagadekar, P. R., Gargate, A. V., Patil, Y. Y., & Raut, P. D. (2023). Carbon sequestration potential of trees from urban green spaces of Kolhapur city, Maharashtra, India. *Environmental & Socio-Economic Studies*, 11(3), 22–32. <https://doi.org/10.2478/enviro-2023-0014>

- Vasylyshyn, R., Lakyda, I., Lakyda, M., & Blyshchyk, V. (2023). Net Primary Production of Forest Vegetal Biomass in Kyiv Region. *Ecological Engineering & Environmental Technology*, 24(1), 38–45. <https://doi.org/10.12912/27197050/154908>
- Vasylyshyn, R., Lakyda, I., Yurchuk, Y., Lakyda, M., Melnyk, O., & Bondarchuk, R. (2022). Energy potential of woody biomass in Ukraine's forests and prospects for its utilization as an alternative energy source. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1042, 012010. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1042/1/012010>
- Wang, Y., Pyörälä, J., Liang, X., Lehtomäki, M., Kukko, A., Yu, X., Kaartinen, H., & 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>
- Williams, M. S., Bechtold, W. A., & LaBau, V. J. (1994). Five Instruments for Measuring Tree Height: An Evaluation. *Southern Journal of Applied Forestry*, 18(2), 76–82. <https://doi.org/10.1093/sjaf/18.2.76>
- Xi, C., Wang, D., & Cao, S.-J. (2023). Impacts of trees-grass area ratio on thermal environment, energy saving, and carbon benefits. *Urban Climate*, 47, 101393. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2022.101393>
- Zhao, Q., Xu, D., Qian, W., Hu, R., Chen, X., Tang, H., & Zhang, C. (2020). Ecological and Landscape Perspectives on Urban Forest Planning and Construction: A Case Study in Guangdong-HongKong-Macao Greater Bay

Area of China. *Frontiers in Sustainable Cities*, 2, 44.

<https://doi.org/10.3389/frsc.2020.00044>

Zhou, H., Xu, C., Pu, H., Nie, Y., & Sun, J. (2023). Influence of urban surface compositions on outdoor thermal environmental parameters on an urban road: A combined two-aspect analysis. *Sustainable Cities and Society*, 90, 104376. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.104376>

Zianis, D., Suomen Metsätieteellinen Seura, & Metsäntutkimuslaitos (Ред.). (2005). *Biomass and stem volume equations for tree species in Europe*. Finnish Society of Forest Science, Finnish Forest Research Institute.

ДОДАТКИ

Додаток А



Рис. А. Просторове розміщення ділянок дослідного полігона території НУБіП України

Додаток Б



Деревні види	● Acer tataricum	● Catalpa bignonioides	● Juglans regia	● Picea omorika	● Pyrus communis	● Salix babylonica	● Tilia cordata
● Abies alba	● Aesculus hippocastanum	● Catalpa speciosa	● Laburnum anagyroides	● Picea pungens	● Quercus robur	● Sambucus nigra	● Ulmus glabra
● Acer campestre	● Ailanthus altissima	● Chamaecyparis pisifera	● Malus domestica	● Platycladus orientalis	● Quercus rubra	● Sorbus aucuparia	● Ulmus laevis
● Acer negundo	● Betula pendula	● Crataegus monogyna	● Malus niedzwetzkyana	● Prunus armeniaca	● Rhus typhina	● Sorbus intermedia	
● Acer platanoides	● Carpinus betulus	● Fagus sylvatica	● Morus alba	● Prunus avium	● Robinia pseudoacacia	● Thuja occidentalis	
● Acer pseudoplatanus	● Castanea sativa	● Fraxinus excelsior	● Picea abies	● Prunus cerasus	● Salix alba	● Thuja plicata	

Рис. Б. Просторове розміщення деревних рослин частини дослідного полігона території НУБіП України отримане в результаті обробки в додатку i-Tree eco

Додаток В

Таблиця В.1

Деревна територія гуртожитків №2, №3, №8 НУБіП України

Деревний вид	Кількість дерев, шт.	Мінімальний вік, років	Максимальний вік, років	Середній діаметр на висоті 1,3 м стовбура, см	Середня висота, м
Айлант найвищий	4	2	10	3,8	2,7
Верба біла	4	2	50	44,9	4,9
Верба плауча	1	15	15	5,8	4,7
Вишня домашня	1	7	7	6,5	3,0
В'яз шорсткий	1	45	45	36,5	17,3
Гіркокаштан звичайний	10	30	65	46,9	11,9
Горіх манджурський	2	35	60	50,0	8,2
Горіх чорний	2	20	23	15,3	7,8
Граб звичайний	3	9	50	33,4	9,4
Груша домашня	7	30	50	50,4	13,4
Дуб звичайний	3	5	390	110,5	14,5
Катальпа чудова	1	6	6	3,0	2,1
Клен гостролистий	3	3	35	11,1	6,9
Клен сріблястий	13	40	80	48,8	16,0
Клен ясенелистий	1	5	5	2,5	4,5
Липа великолиста	3	1	40	35,8	9,2
Липа серцелиста	8	4	30	30,8	9,9
Партеноцисус п'ятилисточковий	1	5	5	-	-
Слива домашня	1	7	7	4,0	4,0
Сосна звичайна	5	70	90	48,0	21,3
Сумах оленерогий	5	12	20	6,5	3,3
Тополя пірамідальна	23	1	85	68,5	17,2
Тополя чорна	11	7	110	64,6	20,8
Туя гігантська	7	12	15	5,7	3,2
Туя західна	83	3	45	4,8	3,0
Шовковиця біла	7	1	30	14,1	2,3
Яблуня домашня	5	4	7	1,8	1,7
Ялина європейська	7	3	30	15,5	5,3
Ялина колюча	3	8	8	5,2	1,6
Ясен звичайний	2	3	40	20,6	4,8

Дерева території корпусів №2,3,4,10 НУБіП України

Деревний вид	Кількість дерев, шт.	Мінімальний вік, років	Максимальний вік, років	Середній діаметр на висоті 1,3 м стовбура, см	Середня висота, м
Абрикос звичайний	1	43	43	35,0	15,1
Айлант найвищий	6	2	57	31,9	14,2
Береза повисла	38	7	80	26,4	15,4
Бузина чорна	1	13	13	20,5	5,5
Бук лісовий	2	26	80	38,2	18,0
Верба біла	4	2	60	53,8	6,1
Верба матсудана	1	7	7	5,0	3,2
Вишня домашня	11	4	41	10,8	4,3
Вільха чорна	7	60	60	38,3	20,4
В'яз гладкий	3	19	62	27,5	13,8
В'яз шорсткий	21	2	80	27,0	12,8
Гінкго дволопатеве	2	3	5	2,4	1,3
Гіркокаштан звичайний	233	3	89	29,2	11,4
Глід колючий	3	25	25	8,1	5,4
Глід одноматочковий	2	35	35	16,2	6,8
Горіх грецький	10	2	26	13,6	4,3
Горіх чорний	3	7	17	8,9	5,3
Горобина звичайна	14	1	35	15,5	7,3
Горобина плакуча	1	8	8	1,9	2,0
Горобина середня	2	15	15	12,8	5,4
Горобина скандинавська	1	25	25	13,5	6,9
Граб звичайний	3	40	80	35,6	23,7
Груша домашня	1	25	25	35,4	16,2
Дуб болотний	1	90	90	53,0	18,0
Дуб звичайний	6	7	200	66,7	16,8
Дуб червоний	35	15	88	34,4	18,3
Золотий дощ звичайний	13	5	30	17,0	5,8
Катальпа бегонієвидна	10	8	80	23,5	8,5
Катальпа гібридна	4	9	10	3,6	3,1
Катальпа чудова	12	6	10	6,1	4,2

Продовження таблиці В.2

Деревний вид	Кількість дерев, шт.	Мінімальний вік, років	Максимальний вік, років	Середній діаметр на висоті 1,3 м стовбура, см	Середня висота, м
Кипарисовик горохоплідний	4	40	40	15,4	9,5
Клен гостролистий	28	6	120	32,8	16,8
Клен польовий	4	30	40	22,7	13,8
Клен сріблястий	5	12	15	6,4	6,7
Клен татарський	1	35	35	28,0	8,0
Клен ясенелистий	4	30	70	30,5	19,2
Липа великолиста	58	8	40	22,3	6,2
Липа кавказька	7	3	39	19,1	12,5
Липа повстиста	1	7	7	17,7	8,0
Липа серцелиста	84	2	90	29,8	12,8
Ліщина звичайна	2	2	2	-	0,3
Магнолія суланжа	2	5	6	1,8	1,3
Модрина європейська	1	20	20	17,9	14,3
Плоскогілочник східний	2	30	40	18,3	8,9
Робінія звичайна	18	8	120	48,0	20,2
Скумпія звичайна	1	6	6	6,1	5,5
Тополя пірамідальна	1	70	70	54,5	23,3
Тополя тремтяча	3	45	50	66,4	19,2
Тополя чорна	6	39	62	66,3	22,4
Туя західна	104	4	75	12,8	5,6
Черешня домашня	5	1	40	7,0	4,9
Шовковиця біла	13	2	30	14,6	6,6
Яблуня домашня	2	7	30	12,6	4,9
Яблуня Надзведського	1	50	50	38,2	7,7
Ялина європейська	17	8	60	14,2	8,1
Ялина колюча	22	45	80	32,6	11,1
Ялиця біла	1	15	15	13,0	7,5

**Дерева території корпусу №1 та гуртожитків №1, №9, №10,
№11, №12 НУБіП України**

Деревний вид	Кількість дерев, шт.	Мінімальний вік, років	Максимальний вік, років	Середній діаметр на висоті 1,3 м стовбура, см	Середня висота, м
Абрикос звичайний	15	3	50	23,7	7,5
Айва звичайна	1	7	7	4,5	2,7
Айлант найвищий	18	2	40	11,6	7,2
Бархат амурський	4	10	50	32,3	16,3
Береза повисла	56	7	80	36,3	17,3
Бук лісовий	4	50	80	44,3	18,4
Верба біла	3	10	15	6,4	4,7
Верба плакуча	1	50	50	61,7	25,7
Верба пурпурова	1	10	10	1,0	2,3
Вишня домашня	32	3	20	7,2	3,5
В'яз гладкий	12	8	55	17,7	12,2
В'яз дрібнолистий	1	30	30	17,1	10,3
В'яз карликовий	1	5	5	1,0	1,7
В'яз шорсткий	48	5	60	13,8	9,8
Гіркокаштан звичайний	29	5	65	24,0	11,1
Глід колючий	5	8	40	13,7	4,8
Горіх грецький	16	4	55	18,3	8,2
Горіх манджурський	5	7	60	35,7	14,0
Горіх сірий	8	4	40	28,7	11,2
Горіх чорний	12	10	75	33,1	11,3
Горобина звичайна	5	6	60	20,3	10,0
Граб звичайний	37	15	60	28,3	14,1
Груша домашня	4	8	60	28,2	10,5
Дуб звичайний	30	25	300	60,2	18,9
Дуб червоний	14	11	60	31,9	14,1
Калина сливовидна	12	10	10	2,7	2,1
Катальпа бегонієвидна	7	3	7	4,5	4,2
Катальпа гібридна	3	7	19	4,5	6,8
Каштан їстівний	2	5	8	4,2	3,9
Клен гостролистий	63	5	65	35,1	18,5
Клен несправжньо-платановий	20	12	75	33,0	16,0
Клен польовий	14	8	60	29,9	13,1
Клен татарський	5	15	28	23,2	7,4

Продовження таблиці В.3

Деревний вид	Кількість дерев, шт.	Мінімальний вік, років	Максимальний вік, років	Середній діаметр на висоті 1,3 м стовбура, см	Середня висота, м
Клен цукристий	6	17	80	37,6	13,1
Клен ясенелистий	4	5	80	32,6	10,5
Липа великолиста	14	2	60	35,7	16,0
Липа серцелиста	120	2	80	35,3	15,8
Робінія звичайна	54	4	65	29,7	17,5
Скумпія звичайна	1	40	40	10,6	4,8
Слива домашня	5	3	17	9,4	4,1
Слива розлога	2	8	9	1,9	2,5
Сосна гірська Мопс	3	7	36	-	0,3
Сосна звичайна	8	15	90	25,6	11,8
Сосна кримська	1	7	7	-	0,5
Сумах оленерогий	5	18	18	9,9	8,8
Тис ягідний	3	10	10	1,2	1,8
Тополя біла	2	2	60	57,6	9,9
Тополя італійська	1	40	40	57,6	21,5
Тополя тремтяча	1	55	55	91,4	21,3
Тополя чорна	2	60	65	62,4	27,2
Туна китайська	1	2	2	-	1,3
Туя західна	190	4	70	13,4	5,6
Церсис канадський	4	4	50	20,2	7,6
Черешня домашня	3	8	45	24,7	13,0
Шовковиця біла	10	12	55	19,6	9,3
Яблуня домашня	12	3	60	21,9	6,6
Яблуня лісова	2	55	60	40,3	14,6
Ялина європейська	38	3	70	8,6	4,9
Ялина канадська	2	12	18	-	0,7
Ялина колюча	1	6	6	4,7	1,6
Ялина сербська	1	40	40	22,6	10,5
Ялівець віргінський	1	10	10	4,8	3,0
Ялівець звичайний	7	6	30	4,6	4,4
Ясен звичайний	13	6	95	31,7	16,1

Деревна територія корпусів № 5,7,8,9,11,13,15,17 НУБіП України

Деревний вид	Кількість дерев, шт.	Мінімальний вік, років	Максимальний вік, років	Середній діаметр на висоті 1,3 м стовбура, см	Середня висота, м
Абрикос звичайний	9	5	50	12,8	5,5
Айлант найвищий	1	3	3	2,5	3,0
Береза повисла	79	8	60	29,4	14,4
Бук лісовий	2	20	20	7,8	3,5
Верба біла	1	18	18	15,4	7,2
Верба вавилонська	1	10	10	8,2	7,1
Виноград(ліана)	16	10	10	-	-
Вишня домашня	7	5	15	4,0	2,5
Вишня японська	36	5	30	3,2	2,9
В'яз гладкий	1	45	45	30,5	16,2
В'яз шорсткий	2	3	45	21,7	9,7
Гінкго дволопатеве	3	10	10	2,3	2,4
Гіркокаштан звичайний	19	3	50	38,6	13,9
Глід колючий	4	30	30	12,6	7,2
Горіх грецький	13	4	40	14,7	7,7
Горіх манджурський	1	10	10	8,0	8,7
Горобина звичайна	1	15	15	6,4	5,1
Граб звичайний	34	2	60	23,8	13,5
Груша домашня	9	6	50	22,3	7,3
Дуб звичайний	7	30	200	59,1	20,7
Дуб червоний	7	10	45	31,7	13,7
Катальпа гібридна	16	3	20	13,6	5,9
Каштан їстівний	7	9	20	9,9	5,2
Клен гостролистий	27	3	80	19,3	8,8
Клен несправжньо-платановий	10	8	50	28,2	14,3
Клен польовий	3	8	40	36,7	7,8
Клен цукристий	3	40	40	27,9	15,8
Клен ясенелистий	14	3	50	16,4	7,4
Липа серцелиста	156	3	60	28,5	11,3

Продовження таблиці В.4

Деревний вид	Кількість дерев, шт.	Мінімальний вік, років	Максимальний вік, років	Середній діаметр на висоті 1,3 м стовбура, см	Середня висота, м
Метасеквоя розсіченолистова	4	10	30	11,2	5,4
Платан західний	4	20	45	19,3	10,8
Плоскогілочник східний	2	22	22	7,2	4,7
Робінія звичайна	15	5	60	32,5	11,5
Слива розлога	12	8	25	7,8	5,8
Сосна звичайна	1	4	4	-	0,7
Сосна кримська	1	15	15	17,6	7,8
Сумах оленерогий	1	7	7	1,9	1,9
Тис ягідний	12	15	30	1,0	0,7
Тополя біла	17	50	75	66,0	16,2
Тополя пірамідальна	1	2	2	0,5	1,8
Тополя чорна	17	30	65	70,4	22,8
Туя гігантська	4	20	30	18,9	8,9
Туя західна	150	8	70	15,5	6,9
Черемха пізня	1	10	10	12,4	5,2
Черешня домашня	16	3	30	9,6	5,5
Шовковиця біла	20	3	40	11,3	5,6
Яблуня домашня	29	5	40	6,5	3,4
Яблуня лісова	1	35	35	21,9	7,7
Яблуня ягідна	3	8	10	3,1	2,0
Ялина європейська	88	10	60	19,8	10,7
Ялина канадська	1	9	9	-	0,5
Ялина колюча	15	10	20	9,3	4,4
Ялиця біла	2	30	30	14,2	7,1
Ялівець звичайний	3	20	20	4,0	4,1
Ясен звичайний	53	3	90	25,5	14,0

Дерева території корпусу № 12 НУБіП України

Деревний вид	Кількість дерев, шт.	Мінімальний вік, років	Максимальний вік, років	Середній діаметр на висоті 1,3 м стовбура, см	Середня висота, м
Абрикос звичайний	6	7	20	21,1	6,6
Айлант найвищий	8	4	25	18,2	9,0
Береза повисла	16	20	60	34,8	15,0
Верба біла	23	1	40	19,4	12,8
Верба матсудана	1	3	3	-	1,3
Виноград(ліана)	1	2	2	-	-
Вишня домашня	6	10	30	24,8	4,2
В'яз гладкий	1	8	8	9,0	6,0
В'яз шорсткий	1	4	4	3,3	5,6
Гіркокаштан звичайний	2	10	25	11,8	7,0
Горіх грецький	7	5	18	7,7	5,3
Горіх сірий	1	4	4	-	0,3
Горобина звичайна	2	25	25	15,9	6,4
Граб звичайний	11	5	45	10,4	9,3
Груша домашня	5	5	55	43,4	11,1
Дуб звичайний	86	4	125	51,6	22,3
Дуб червоний	22	10	80	30,4	16,1
Катальпа гібридна	12	8	30	9,1	4,6
Клен гостролистий	178	3	75	10,2	9,3
Клен несправжньо-платановий	63	3	60	20,8	15,0
Клен цукристий	1	90	90	29,1	20,9
Клен ясенелистий	129	5	60	19,4	11,4
Липа великолиста	2	15	30	14,1	9,6
Липа кавказька	2	30	30	24,1	8,8
Липа серцелиста	21	5	45	17,6	12,5
Ліщина ведмежа	2	23	30	14,9	9,4

Продовження таблиці В.5

Деревний вид	Кількість дерев, шт.	Мінімальний вік, років	Максимальний вік, років	Середній діаметр на висоті 1,3 м стовбура, см	Середня висота, м
Магнолія Кобуса	1	7	7	0,9	1,6
Обліпіха крушиновидна	2	7	7	-	1,5
Робінія звичайна	73	2	70	24,3	13,2
Слива домашня	6	4	15	6,9	4,0
Слива розлога	2	10	25	11,2	7,4
Сумах оленерогий	24	5	25	13,8	6,5
Тополя біла	3	5	70	73,4	19,7
Тополя пірамідальна	4	7	60	50,2	18,0
Тополя тремтяча	2	40	60	48,9	20,4
Тополя чорна	7	-	-	24,9	12,2
Туя західна	47	4	40	7,1	3,3
Черемха пізня	2	5	20	9,5	8,2
Черешня домашня	23	4	50	24,4	8,1
Шовковиця біла	7	3	50	13,3	3,8
Яблуня домашня	14	4	40	24,0	5,4
Ялина європейська	82	3	40	13,2	4,1
Ялина колюча	2	17	20	5,8	3,1
Ялівець звичайний	3	13	13	1,0	3,8
Ясен звичайний	3	5	40	15,0	10,6

Додаток Д

Таблиця Д.1

Діаметри стовбурів дерев з понад трьома стовбурами

№ з.п.	Деревний вид	К-сть стовбурів	Діаметр стовбура дерева, см								Середній діаметр, см
			1 ст.	2 ст.	3 ст.	4ст.	5 ст.	6 ст.	7 ст.	8 ст.	
1	Клен гостролистий	7	34,5	23,8	35	31,8	34,8	27	36,7	–	31,9
2	Гіркокаштан звичайний	4	30,7	23,2	32,1	20,8	–	–	–	–	26,7
3	Шовковиця біла	4	13	8,7	9,8	7,3	–	–	–	–	9,7
4	Абрикос звичайний	5	8	13	14	9,7	11,9	–	–	–	11,3
5	Клен несправжньоплатановий	5	23,75	33,3	29,8	21,3	25,5	–	–	–	26,7
6	Клен несправжньоплатановий	5	25	19,7	22,35	20,3	22,3	–	–	–	21,9
7	Клен несправжньоплатановий	4	36,8	35,3	31,3	37,6	–	–	–	–	35,3
8	Горіх сірий	5	2,5	4,7	2,6	2,9	2,6	–	–	–	3,0
9	Граб звичайний	4	9,2	14,2	19,25	25,85	–	–	–	–	17,1
10	Клен цукристий	8	22,5	30,8	26,8	43,8	22,1	17,5	26,95	21,05	26,4
11	Клен цукристий	5	28,1	33	32	31,55	23,6	–	–	–	29,7
12	Верба плакуча	8	5,7	4,6	9,5	5,3	6	5,1	4,6	5,7	5,8
13	Туя західна	7	7,9	14,8	8,1	7,4	9,7	10,1	8,8	–	9,5
14	Туя західна	6	6,9	15	10	9,6	14,3	12,6	–	–	11,4
15	Золотий дощ звичайний	5	6,4	6	7	6,3	5,55	–	–	–	6,3
16	Золотий дощ звичайний	6	7,5	12,5	7,6	8,4	7,9	6,55	–	–	8,4
17	Золотий дощ звичайний	6	13,85	7	5,9	8,9	10,2	5,6	–	–	8,6
18	Туя західна	4	19,3	15,75	17,5	17,15	–	–	–	–	17,4
19	Катальпа гібридна	4	5,8	7,4	11,6	3,8	–	–	–	–	7,2
20	Черешня домашня	6	5	5,5	6,8	4,6	6	13,15	–	–	6,8
21	Туя західна	5	11,4	9,2	9,7	10,4	9	–	–	–	9,9
22	Туя західна	6	9	13,6	18,8	10	8,7	5,1	–	–	10,9
23	Туя західна	5	10,3	9,1	14,6	9,7	9,35	–	–	–	10,6
24	Туя західна	7	5,25	9,4	9,3	5,85	14,1	6,85	5,9	–	8,09
25	Туя західна	7	11,2	12,85	6,4	13,5	9,5	10	8,1	–	10,2
26	Туя західна	4	10,85	13,65	12,2	11,3	–	–	–	–	12
27	Туя західна	6	9,6	9,2	10,4	8,9	9	13,2	–	–	10,1
28	Туя західна	5	13,25	9,5	11,85	10,9	14,7	–	–	–	12,0
29	Туя західна	5	8	10,9	13,75	13,5	6,3	–	–	–	10,5
30	Туя західна	5	12,8	13,2	11,9	8,25	7,3	–	–	–	10,7
31	Туя західна	4	9,45	13,3	11,85	14,85	–	–	–	–	12,4

№ з.п.	Деревний вид	К-сть стовбурів	Діаметр стовбура дерева, см								Середній діаметр, см
			1 ст.	2 ст.	3 ст.	4 ст.	5 ст.	6 ст.	7 ст.	8 ст.	
32	Туя західна	4	10,65	12,4	11,65	13,5	—	—	—	—	12,1
33	Туя західна	6	12,8	9,9	9,7	12,65	13,65	10,1	—	—	11,5
34	Туя західна	5	8,55	9,35	12,8	11,45	11,5	—	—	—	10,7
35	Туя західна	5	11,85	10,4	13,2	12,2	8,7	—	—	—	11,3
36	Туя західна	6	10,35	14,6	8,8	7,25	6,1	10,2	—	—	9,6
37	Верба вавилонська	8	8,45	9,45	7,75	10,45	9,85	8,85	8,75	12,85	9,6
38	Туя західна	4	9,95	21,2	9,4	19,1	—	—	—	—	14,9
39	Туя західна	4	17,1	12,35	14,75	18,05	—	—	—	—	15,6
40	Туя західна	4	15,35	14,25	16,65	14,25	—	—	—	—	15,1
41	Туя західна	4	20	19,65	15,25	12,4	—	—	—	—	16,8
42	Шовковиця біла	5	11,2	12,55	6,9	9,45	5,35	—	—	—	9,1
43	Туя західна	6	21,55	17,05	12,65	14,65	13,35	18,2	—	—	16,2
44	Клен ясенелистий	8	19,25	14,65	17,25	16,4	17,4	18,15	24,5	10,85	17,3
45	Туя західна	5	16,65	16,9	14,3	10,75	12,8	—	—	—	14,3
46	Туя західна	4	14,9	10,5	14,3	18,5	—	—	—	—	14,6
47	Туя західна	4	21,65	15,35	11,75	14,5	—	—	—	—	15,8
48	Туя західна	5	5,95	13,85	12,85	15,75	11,3	—	—	—	11,9
49	Туя західна	4	13,95	11,85	12,55	11,85	—	—	—	—	12,6
50	Туя західна	7	11,2	6,4	8,2	14,45	9,0	17,2	12,0	—	11,2
51	Туя західна	5	17,3	12,1	11,45	17,1	10,9	—	—	—	13,8
52	Туя західна	6	17,1	11,9	6,3	12,75	10,2	12,05	—	—	11,7
53	Туя західна	4	16,5	16,6	12,2	19,6	—	—	—	—	16,2
54	Туя західна	4	17,5	8,8	18,7	6,3	—	—	—	—	12,8
55	Туя західна	4	19,65	14,3	10	14,45	—	—	—	—	14,6
56	Туя західна	4	21,45	16,35	5,55	17,35	—	—	—	—	15,2
57	Туя західна	5	13,85	18	5,2	18,9	8,1	—	—	—	12,8
58	Туя західна	4	16,5	13,55	13,35	21,2	—	—	—	—	16,2
59	Туя західна	6	13,55	16,3	7,4	16,7	12,6	17,7	—	—	14,0
60	Туя західна	8	8,8	14,25	14,4	9,25	14,25	13,3	8,6	19,0	12,7
61	Туя західна	5	18,3	11,8	6,8	11,55	21,1	—	—	—	13,9
62	Туя західна	4	18,7	12,8	20,3	23,8	—	—	—	—	18,9
63	Туя західна	6	22,6	8,9	14,9	23,05	20,0	24,35	—	—	19,0
64	Туя західна	4	19,9	13	9,4	18,95	—	—	—	—	15,3
65	Туя західна	5	10,85	12,55	18,4	19,1	18,2	—	—	—	15,8
66	Туя західна	6	13	18,9	12,75	10,0	14,3	18,6	—	—	14,6
67	Туя західна	5	7,5	9,95	13,45	6,45	7,8	—	—	—	9,0
68	Абрикос звичайний	6	5,5	7,8	7	5,7	6,2	4,3	—	—	6,0
69	Туя західна	4	4,3	5,3	3,8	4,5	—	—	—	—	4,5
70	Вишня японська	7	2,8	3,4	2,3	2,0	2,7	3,7	2,2	—	2,7
71	Туя західна	5	7,55	6,85	9,6	13,4	12,35	—	—	—	10,0
72	Туя західна	5	14,1	17,5	7,8	17,9	19,75	—	—	—	15,4
73	Туя західна	4	22,75	21,5	22,5	18,15	—	—	—	—	21,2
74	Шовковиця біла	4	12,05	8,2	7,45	8,0	—	—	—	—	8,9
75	Туя західна	7	10,45	10,1	13,1	8,05	18,7	18,85	16,55	—	13,7

**Точність визначення середнього діаметра за результатами
вимірювання одного, відібраного випадковим чином, стовбура**

№ з.п	Деревний вид	\bar{D} (істинне значення), см	n стовбурів	S комбінацій стовбурів	\bar{D} (з усіх можливих комбінацій), см	σ	$m_{\bar{x}}$	t	CI95	P, %
1	Клен гостролистий	31,94	7	7	31,94	4,7860	1,8090	2,3646	4,2775	13,4
2	Гірकोкаштан звичайний	26,70	4	4	26,70	5,5444	2,7722	2,7764	7,6968	28,8
3	Шовковиця біла	9,70	4	4	9,70	2,4262	1,2131	2,7764	3,3682	34,7
4	Абрикос звичайний	11,32	5	5	11,32	2,4489	1,0952	2,5706	2,8152	24,9
5	Клен несправжньоплатановий	26,73	5	5	26,73	4,8080	2,1502	2,5706	5,5273	20,7
6	Клен несправжньоплатановий	21,93	5	5	21,93	2,0837	0,9319	2,5706	2,3955	10,9
7	Клен несправжньоплатановий	35,25	4	4	35,25	2,8006	1,4003	2,7764	3,8878	11
8	Горіх сірий	3,06	5	5	3,06	0,9290	0,4155	2,5706	1,0680	34,9
9	Граб звичайний	17,13	4	4	17,13	7,1181	3,5591	2,7764	9,8815	57,7
10	Клен цукристий	26,44	8	8	26,44	8,1425	2,8788	2,3060	6,6386	25,1
11	Клен цукристий	29,65	5	5	29,65	3,8523	1,7228	2,5706	4,4286	14,9
12	Верба плакуча	5,81	8	8	5,81	1,5752	0,5569	2,3060	1,2843	22,1
13	Туя західна	9,54	7	7	9,54	2,5132	0,9499	2,3646	2,2462	23,5
14	Туя західна	11,40	6	6	11,40	3,1068	1,2683	2,4469	3,1035	27,2
15	Золотий дощ звичайний	6,25	5	5	6,25	0,5339	0,2387	2,5706	0,6137	9,8
16	Золотий дощ звичайний	8,41	6	6	8,41	2,0944	0,8550	2,4469	2,0922	24,9
17	Золотий дощ звичайний	8,58	6	6	8,58	3,1324	1,2788	2,4469	3,1291	36,5
18	Туя західна	17,43	4	4	17,43	1,4609	0,7304	2,7764	2,0280	11,6
19	Катальпа гібридна	7,15	4	4	7,15	3,3121	1,6560	2,7764	4,5979	64,3
20	Черешня домашня	6,84	6	6	6,84	3,1850	1,3003	2,4469	3,1817	46,5
21	Туя західна	9,94	5	5	9,94	0,9788	0,4377	2,5706	1,1252	11,3
22	Туя західна	10,87	6	6	10,87	4,7454	1,9373	2,4469	4,7404	43,6
23	Туя західна	10,61	5	5	10,61	2,2755	1,0176	2,5706	2,6159	24,7
24	Туя західна	8,09	7	7	8,09	3,1283	1,1824	2,3646	2,7959	34,5
25	Туя західна	10,22	7	7	10,22	2,5262	0,9548	2,3646	2,2578	22,1
26	Туя західна	12,00	4	4	12,00	1,2349	0,6175	2,7764	1,7143	14,3
27	Туя західна	10,05	6	6	10,05	1,6368	0,6682	2,4469	1,6350	16,3
28	Туя західна	12,04	5	5	12,04	2,0203	0,9035	2,5706	2,3226	19,3
29	Туя західна	10,49	5	5	10,49	3,3020	1,4767	2,5706	3,7959	36,2
30	Туя західна	10,69	5	5	10,69	2,7231	1,2178	2,5706	3,1305	29,3
31	Туя західна	12,36	4	4	12,36	2,2958	1,1479	2,7764	3,1871	25,8
32	Туя західна	12,05	4	4	12,05	1,2035	0,6017	2,7764	1,6707	13,9

№ з.п	Деревний вид	\bar{D} (істинне значення), см	n стовбурів	S комбінацій стовбурів	\bar{D} (з усіх можливих комбінацій), см	σ	$m_{\bar{x}}$	t	CI95	P, %
33	Туя західна	11,47	6	6	11,47	1,7543	0,7162	2,4469	1,7525	15,3
34	Туя західна	10,73	5	5	10,73	1,7359	0,7763	2,5706	1,9956	18,6
35	Туя західна	11,27	5	5	11,27	1,7527	0,7838	2,5706	2,0149	17,9
36	Туя західна	9,55	6	6	9,55	2,9772	1,2155	2,4469	2,9741	31,1
37	Верба вавилонська	9,55	8	8	9,55	1,5757	0,5571	2,3060	1,2847	13,5
38	Туя західна	14,91	4	4	14,91	6,1123	3,0562	2,7764	8,4853	56,9
39	Туя західна	15,56	4	4	15,56	2,5516	1,2758	2,7764	3,5422	22,8
40	Туя західна	15,13	4	4	15,13	1,1413	0,5706	2,7764	1,5843	10,5
41	Туя західна	16,83	4	4	16,83	3,6571	1,8285	2,7764	5,0768	30,2
42	Шовковиця біла	9,09	5	5	9,09	2,9722	1,3292	2,5706	3,4169	37,6
43	Туя західна	16,24	6	6	16,24	3,3604	1,3719	2,4469	3,3569	20,7
44	Клен ясенелистий	17,31	8	8	17,31	3,8879	1,3746	2,3060	3,1698	18,3
45	Туя західна	14,28	5	5	14,28	2,6045	1,1648	2,5706	2,9941	21
46	Туя західна	14,55	4	4	14,55	3,2757	1,6378	2,7764	4,5474	31,3
47	Туя західна	15,81	4	4	15,81	4,1840	2,0920	2,7764	5,8083	36,7
48	Туя західна	11,94	5	5	11,94	3,7176	1,6626	2,5706	4,2737	35,8
49	Туя західна	12,55	4	4	12,55	0,9899	0,4950	2,7764	1,3743	11
50	Туя західна	11,21	7	7	11,21	3,7435	1,4149	2,3646	3,3457	29,9
51	Туя західна	13,77	5	5	13,77	3,1606	1,4135	2,5706	3,6334	26,4
52	Туя західна	11,72	6	6	11,72	3,5166	1,4357	2,4469	3,5129	30
53	Туя західна	16,23	4	4	16,23	3,0445	1,5223	2,7764	4,2265	26
54	Туя західна	12,83	4	4	12,83	6,1954	3,0977	2,7764	8,6005	67,1
55	Туя західна	14,60	4	4	14,60	3,9486	1,9743	2,7764	5,4816	37,5
56	Туя західна	15,18	4	4	15,18	6,7855	3,3927	2,7764	9,4197	62,1
57	Туя західна	12,81	5	5	12,81	6,0250	2,6945	2,5706	6,9263	54,1
58	Туя західна	16,15	4	4	16,15	3,6617	1,8309	2,7764	5,0833	31,5
59	Туя західна	14,04	6	6	14,04	3,7943	1,5490	2,4469	3,7903	27
60	Туя західна	12,73	8	8	12,73	3,6186	1,2794	2,3060	2,9502	23,2
61	Туя західна	13,91	5	5	13,91	5,7346	2,5646	2,5706	6,5925	47,4
62	Туя західна	18,90	4	4	18,90	4,5906	2,2953	2,7764	6,3727	33,7
63	Туя західна	18,97	6	6	18,97	5,9632	2,4345	2,4469	5,9569	31,4
64	Туя західна	15,31	4	4	15,31	4,9860	2,4930	2,7764	6,9217	45,2
65	Туя західна	15,82	5	5	15,82	3,8234	1,7099	2,5706	4,3954	27,8
66	Туя західна	14,59	6	6	14,59	3,5135	1,4344	2,4469	3,5098	24,1
67	Туя західна	9,03	5	5	9,03	2,7791	1,2428	2,5706	3,1948	35,4
68	Абрикос звичайний	6,08	6	6	6,08	1,2222	0,4989	2,4469	1,2209	20,1
69	Туя західна	4,48	4	4	4,48	0,6238	0,3119	2,7764	0,8660	19,4
70	Вишня японська	2,73	7	7	2,73	0,6317	0,2388	2,3646	0,5646	20,7
71	Туя західна	9,95	5	5	9,95	2,8790	1,2875	2,5706	3,3097	33,3
72	Туя західна	15,41	5	5	15,41	4,7178	2,1099	2,5706	5,4236	35,2
73	Туя західна	21,23	4	4	21,23	2,1199	1,0600	2,7764	2,9430	13,9
74	Шовковиця біла	8,93	4	4	8,93	2,1073	1,0537	2,7764	2,9254	32,8
75	Туя західна	13,69	7	7	13,69	4,3865	1,6579	2,3646	3,9204	28,6

**Точність визначення середнього діаметра за результатами
вимірювання двох, відібраних випадковим чином, стовбурів**

№ з.п	Деревний вид	\bar{D} (істинне значення), см	n стовбурів	S комбінацій стовбурів	\bar{D} (з усіх можливих комбінацій), см	σ	$m_{\bar{x}}$	t	CI95	P, %
1	Клен гостролистий	31,94	7	21	31,94	2,9308	0,6396	2,0796	1,3300	4,2
2	Гіркокаштан звичайний	26,70	4	6	26,70	3,0368	1,2398	2,4469	3,0336	11,4
3	Шовковиця біла	9,70	4	6	9,70	1,3289	0,5425	2,4469	1,3275	13,7
4	Абрикос звичайний	11,32	5	10	11,32	1,4139	0,4471	2,2281	0,9962	8,8
5	Клен несправжньоплатановий	26,73	5	10	26,73	2,7759	0,8778	2,2281	1,9559	7,3
6	Клен несправжньоплатановий	21,93	5	10	21,93	1,2031	0,3804	2,2281	0,8477	3,9
7	Клен несправжньоплатановий	35,25	4	6	35,25	1,5339	0,6262	2,4469	1,5323	4,3
8	Горіх сірий	3,06	5	10	3,06	0,5363	0,1696	2,2281	0,3779	12,3
9	Граб звичайний	17,13	4	6	17,13	3,8987	1,5917	2,4469	3,8946	22,7
10	Клен цукристий	26,44	8	28	26,44	5,0777	0,9596	2,0484	1,9657	7,4
11	Клен цукристий	29,65	5	10	29,65	2,2241	0,7033	2,2281	1,5671	5,3
12	Верба плакуча	5,81	8	28	5,81	0,9823	0,1856	2,0484	0,3803	6,5
13	Туя західна	9,54	7	21	9,54	1,5390	0,3358	2,0796	0,6984	7,3
14	Туя західна	11,40	6	15	11,40	1,8566	0,4794	2,1314	1,0218	9
15	Золотий дощ звичайний	6,25	5	10	6,25	0,3082	0,0975	2,2281	0,2172	3,5
16	Золотий дощ звичайний	8,41	6	15	8,41	1,2516	0,3232	2,1314	0,6888	8,2
17	Золотий дощ звичайний	8,58	6	15	8,58	1,8719	0,4833	2,1314	1,0302	12
18	Туя західна	17,43	4	6	17,43	0,8002	0,3267	2,4469	0,7993	4,6
19	Катальпа гібридна	7,15	4	6	7,15	1,8141	0,7406	2,4469	1,8122	25,3
20	Черешня домашня	6,84	6	15	6,84	1,9034	0,4915	2,1314	1,0475	15,3
21	Туя західна	9,94	5	10	9,94	0,5651	0,1787	2,2281	0,3982	4
22	Туя західна	10,87	6	15	10,87	2,8359	0,7322	2,1314	1,5607	14,4
23	Туя західна	10,61	5	10	10,61	1,3138	0,4155	2,2281	0,9257	8,7
24	Туя західна	8,09	7	21	8,09	1,9157	0,4180	2,0796	0,8694	10,7
25	Туя західна	10,22	7	21	10,22	1,5470	0,3376	2,0796	0,7020	6,9
26	Туя західна	12,00	4	6	12,00	0,6764	0,2761	2,4469	0,6757	5,6
27	Туя західна	10,05	6	15	10,05	0,9782	0,2526	2,1314	0,5383	5,4
28	Туя західна	12,04	5	10	12,04	1,1664	0,3689	2,2281	0,8219	6,8
29	Туя західна	10,49	5	10	10,49	1,9064	0,6029	2,2281	1,3432	12,8
30	Туя західна	10,69	5	10	10,69	1,5722	0,4972	2,2281	1,1078	10,4
31	Туя західна	12,36	4	6	12,36	1,2575	0,5134	2,4469	1,2561	10,2

№ з.п	Деревний вид	\bar{D} (істинне значення), см	n стовбурів	S комбінацій стовбурів	D (з усіх можливих комбінацій)	σ	$m_{\bar{x}}$	t	CI95	P, %
32	Туя західна	12,05	4	6	12,05	0,6592	0,2691	2,4469	0,6585	5,5
33	Туя західна	11,47	6	15	11,47	1,0484	0,2707	2,1314	0,5770	5
34	Туя західна	10,73	5	10	10,73	1,0022	0,3169	2,2281	0,7062	6,6
35	Туя західна	11,27	5	10	11,27	1,0119	0,3200	2,2281	0,7130	6,3
36	Туя західна	9,55	6	15	9,55	1,7792	0,4594	2,1314	0,9792	10,3
37	Верба вавилонська	9,55	8	28	9,55	0,9826	0,1857	2,0484	0,3804	4
38	Туя західна	14,91	4	6	14,91	3,3479	1,3668	2,4469	3,3443	22,4
39	Туя західна	15,56	4	6	15,56	1,3976	0,5706	2,4469	1,3961	9
40	Туя західна	15,13	4	6	15,13	0,6251	0,2552	2,4469	0,6244	4,1
41	Туя західна	16,83	4	6	16,83	2,0031	0,8177	2,4469	2,0010	11,9
42	Шовковиця біла	9,09	5	10	9,09	1,7160	0,5427	2,2281	1,2091	13,3
43	Туя західна	16,24	6	15	16,24	2,0082	0,5185	2,1314	1,1052	6,8
44	Клен ясенелистий	17,31	8	28	17,31	2,4246	0,4582	2,0484	0,9386	5,4
45	Туя західна	14,28	5	10	14,28	1,5037	0,4755	2,2281	1,0595	7,4
46	Туя західна	14,55	4	6	14,55	1,7942	0,7325	2,4469	1,7923	12,3
47	Туя західна	15,81	4	6	15,81	2,2917	0,9356	2,4469	2,2892	14,5
48	Туя західна	11,94	5	10	11,94	2,1464	0,6787	2,2281	1,5123	12,7
49	Туя західна	12,55	4	6	12,55	0,5422	0,2214	2,4469	0,5416	4,3
50	Туя західна	11,21	7	21	11,21	2,2924	0,5002	2,0796	1,0403	9,3
51	Туя західна	13,77	5	10	13,77	1,8248	0,5770	2,2281	1,2857	9,3
52	Туя західна	11,72	6	15	11,72	2,1016	0,5426	2,1314	1,1566	9,9
53	Туя західна	16,23	4	6	16,23	1,6676	0,6808	2,4469	1,6658	10,3
54	Туя західна	12,83	4	6	12,83	3,3933	1,3853	2,4469	3,3898	26,4
55	Туя західна	14,60	4	6	14,60	2,1628	0,8829	2,4469	2,1605	14,8
56	Туя західна	15,18	4	6	15,18	3,7166	1,5173	2,4469	3,7126	24,5
57	Туя західна	12,81	5	10	12,81	3,4785	1,1000	2,2281	2,4510	19,1
58	Туя західна	16,15	4	6	16,15	2,0056	0,8188	2,4469	2,0035	12,4
59	Туя західна	14,04	6	15	14,04	2,2675	0,5855	2,1314	1,2479	8,9
60	Туя західна	12,73	8	28	12,73	2,2566	0,4265	2,0484	0,8736	6,9
61	Туя західна	13,91	5	10	13,91	3,3109	1,0470	2,2281	2,3328	16,8
62	Туя західна	18,90	4	6	18,90	2,5144	1,0265	2,4469	2,5117	13,3
63	Туя західна	18,97	6	15	18,97	3,5637	0,9201	2,1314	1,9612	10,3
64	Туя західна	15,31	4	6	15,31	2,7310	1,1149	2,4469	2,7281	17,8
65	Туя західна	15,82	5	10	15,82	2,2074	0,6981	2,2281	1,5554	9,8
66	Туя західна	14,59	6	15	14,59	2,0997	0,5421	2,1314	1,1555	7,9
67	Туя західна	9,03	5	10	9,03	1,6045	0,5074	2,2281	1,1305	12,5
68	Абрикос звичайний	6,08	6	15	6,08	0,7304	0,1886	2,1314	0,4020	6,6
69	Туя західна	4,48	4	6	4,48	0,3417	0,1395	2,4469	0,3413	7,6
70	Вишня японська	2,73	7	21	2,73	0,3868	0,0844	2,0796	0,1756	6,4
71	Туя західна	9,95	5	10	9,95	1,6622	0,5256	2,2281	1,1712	11,8
72	Туя західна	15,41	5	10	15,41	2,7238	0,8614	2,2281	1,9192	12,5
73	Туя західна	21,23	4	6	21,23	1,1611	0,4740	2,4469	1,1599	5,5
74	Шовковиця біла	8,93	4	6	8,93	1,1542	0,4712	2,4469	1,1530	12,9
75	Туя західна	13,69	7	21	13,69	2,6862	0,5862	2,0796	1,2190	8,9

**Точність визначення середнього діаметра за результатами
вимірювання трьох, відібраних випадковим чином, стовбурів**

№ п/п	Деревний вид	\bar{D} (істинне значення), см	n стовбурів	S комбінацій стовбурів	\bar{D} (з усіх можливих комбінацій), см	σ	$m_{\bar{x}}$	t	CI95	P, %
1	Клен гостролистий	31,94	7	35	31,94	2,1193	0,3582	2,0301	0,7272	2,3
2	Гіркокаштан звичайний	26,70	4	4	26,70	1,8481	0,9241	2,7764	2,5656	9,6
3	Шовковиця біла	9,70	4	4	9,70	0,8087	0,4044	2,7764	1,1227	11,6
4	Абрикос звичайний	11,32	5	10	11,32	0,9426	0,2981	2,2281	0,6641	5,9
5	Клен несправжньоплатановий	26,73	5	10	26,73	1,8506	0,5852	2,2281	1,3039	4,9
6	Клен несправжньоплатановий	21,93	5	10	21,93	0,8020	0,2536	2,2281	0,5651	2,6
7	Клен несправжньоплатановий	35,25	4	4	35,25	0,9335	0,4668	2,7764	1,2959	3,7
8	Горіх сірий	3,06	5	10	3,06	0,3576	0,1131	2,2281	0,2519	8,2
9	Граб звичайний	17,13	4	4	17,13	2,3727	1,1864	2,7764	3,2938	19,2
10	Клен цукристий	26,44	8	56	26,44	3,7502	0,5011	2,0032	1,0039	3,8
11	Клен цукристий	29,65	5	10	29,65	1,4827	0,4689	2,2281	1,0447	3,5
12	Верба плакуча	5,81	8	56	5,81	0,7255	0,0969	2,0032	0,1942	3,3
13	Туя західна	9,54	7	35	9,54	1,1129	0,1881	2,0301	0,3819	4
14	Туя західна	11,40	6	20	11,40	1,3013	0,2910	2,0860	0,6070	5,3
15	Золотий дощ звичайний	6,25	5	10	6,25	0,2055	0,0650	2,2281	0,1448	2,3
16	Золотий дощ звичайний	8,41	6	20	8,41	0,8772	0,1962	2,0860	0,4092	4,9
17	Золотий дощ звичайний	8,58	6	20	8,58	1,3120	0,2934	2,0860	0,6120	7,1
18	Туя західна	17,43	4	4	17,43	0,4870	0,2435	2,7764	0,6760	3,9
19	Катальпа гібридна	7,15	4	4	7,15	1,1040	0,5520	2,7764	1,5326	21,4
20	Черешня домашня	6,84	6	20	6,84	1,3341	0,2983	2,0860	0,6223	9,1
21	Туя західна	9,94	5	10	9,94	0,3767	0,1191	2,2281	0,2654	2,7
22	Туя західна	10,87	6	20	10,87	1,9876	0,4444	2,0860	0,9271	8,5
23	Туя західна	10,61	5	10	10,61	0,8758	0,2770	2,2281	0,6171	5,8
24	Туя західна	8,09	7	35	8,09	1,3852	0,2341	2,0301	0,4753	5,9
25	Туя західна	10,22	7	35	10,22	1,1186	0,1891	2,0301	0,3839	3,8
26	Туя західна	12,00	4	4	12,00	0,4116	0,2058	2,7764	0,5714	4,8
27	Туя західна	10,05	6	20	10,05	0,6856	0,1533	2,0860	0,3198	3,2
28	Туя західна	12,04	5	10	12,04	0,7776	0,2459	2,2281	0,5479	4,6
29	Туя західна	10,49	5	10	10,49	1,2709	0,4019	2,2281	0,8955	8,5
30	Туя західна	10,69	5	10	10,69	1,0481	0,3315	2,2281	0,7385	6,9
31	Туя західна	12,36	4	4	12,36	0,7653	0,3826	2,7764	1,0624	8,6

№ з.п	Деревний вид	\bar{D} (істинне значення), см	n стовбурів	S комбінацій стовбурів	\bar{D} (з усіх можливих комбінацій)	σ	$m_{\bar{x}}$	t	СІ95	P, %
32	Туя західна	12,05	4	4	12,05	0,4012	0,2006	2,7764	0,5569	4,6
33	Туя західна	11,47	6	20	11,47	0,7348	0,1643	2,0860	0,3427	3
34	Туя західна	10,73	5	10	10,73	0,6681	0,2113	2,2281	0,4708	4,4
35	Туя західна	11,27	5	10	11,27	0,6746	0,2133	2,2281	0,4753	4,2
36	Туя західна	9,55	6	20	9,55	1,2470	0,2788	2,0860	0,5817	6,1
37	Верба вавилонська	9,55	8	56	9,55	0,7257	0,0970	2,0032	0,1943	2
38	Туя західна	14,91	4	4	14,91	2,0374	1,0187	2,7764	2,8284	19
39	Туя західна	15,56	4	4	15,56	0,8505	0,4253	2,7764	1,1807	7,6
40	Туя західна	15,13	4	4	15,13	0,3804	0,1902	2,7764	0,5281	3,5
41	Туя західна	16,83	4	4	16,83	1,2190	0,6095	2,7764	1,6923	10,1
42	Шовковиця біла	9,09	5	10	9,09	1,1440	0,3618	2,2281	0,8061	8,9
43	Туя західна	16,24	6	20	16,24	1,4075	0,3147	2,0860	0,6565	4
44	Клен ясенелистий	17,31	8	56	17,31	1,7907	0,2393	2,0032	0,4793	2,8
45	Туя західна	14,28	5	10	14,28	1,0025	0,3170	2,2281	0,7063	4,9
46	Туя західна	14,55	4	4	14,55	1,0919	0,5459	2,7764	1,5158	10,4
47	Туя західна	15,81	4	4	15,81	1,3947	0,6973	2,7764	1,9361	12,2
48	Туя західна	11,94	5	10	11,94	1,4309	0,4525	2,2281	1,0082	8,4
49	Туя західна	12,55	4	4	12,55	0,3300	0,1650	2,7764	0,4581	3,7
50	Туя західна	11,21	7	35	11,21	1,6576	0,2802	2,0301	0,5688	5,1
51	Туя західна	13,77	5	10	13,77	1,2165	0,3847	2,2281	0,8572	6,2
52	Туя західна	11,72	6	20	11,72	1,4730	0,3294	2,0860	0,6870	5,9
53	Туя західна	16,23	4	4	16,23	1,0148	0,5074	2,7764	1,4088	8,7
54	Туя західна	12,83	4	4	12,83	2,0651	1,0326	2,7764	2,8668	22,4
55	Туя західна	14,60	4	4	14,60	1,3162	0,6581	2,7764	1,8272	12,5
56	Туя західна	15,18	4	4	15,18	2,2618	1,1309	2,7764	3,1399	20,7
57	Туя західна	12,81	5	10	12,81	2,3190	0,7333	2,2281	1,6340	12,8
58	Туя західна	16,15	4	4	16,15	1,2206	0,6103	2,7764	1,6944	10,5
59	Туя західна	14,04	6	20	14,04	1,5892	0,3554	2,0860	0,7413	5,3
60	Туя західна	12,73	8	56	12,73	1,6666	0,2227	2,0032	0,4461	3,5
61	Туя західна	13,91	5	10	13,91	2,2072	0,6980	2,2281	1,5552	11,2
62	Туя західна	18,90	4	4	18,90	1,5302	0,7651	2,7764	2,1242	11,2
63	Туя західна	18,97	6	20	18,97	2,4977	0,5585	2,0860	1,1650	6,1
64	Туя західна	15,31	4	4	15,31	1,6620	0,8310	2,7764	2,3072	15,1
65	Туя західна	15,82	5	10	15,82	1,4716	0,4654	2,2281	1,0369	6,6
66	Туя західна	14,59	6	20	14,59	1,4716	0,3291	2,0860	0,6864	4,7
67	Туя західна	9,03	5	10	9,03	1,0697	0,3383	2,2281	0,7537	8,3
68	Абрикос звичайний	6,08	6	20	6,08	0,5119	0,1145	2,0860	0,2388	3,9
69	Туя західна	4,48	4	4	4,48	0,2079	0,1040	2,7764	0,2887	6,5
70	Вишня японська	2,73	7	35	2,73	0,2797	0,0473	2,0301	0,0960	3,5
71	Туя західна	9,95	5	10	9,95	1,1081	0,3504	2,2281	0,7808	7,8
72	Туя західна	15,41	5	10	15,41	1,8159	0,5742	2,2281	1,2795	8,3
73	Туя західна	21,23	4	4	21,23	0,7066	0,3533	2,7764	0,9810	4,6
74	Шовковиця біла	8,93	4	4	8,93	0,7024	0,3512	2,7764	0,9751	10,9
75	Туя західна	13,69	7	35	13,69	1,9424	0,3283	2,0301	0,6665	4,9

**Точність визначення середнього діаметра за результатами
цільового відбору**

№ з.п.	Деревний вид	n стовбурів	\bar{D} (істене значення), см	D min, см	D mn, см	D max, см	\bar{D} (min/max), см	\bar{D} (min/mn/max), см	чотири найбільших стовбури, см	Похибка вимірювання		
										Δ (min/max), см	Δ (min/mn/max), см	Δ (чотири найбільших стовбури), см
1	Клен гостролистий	7	31,94	23,8	31,8	36,7	30,25	30,77	35,25	-1,69	-1,17	3,31
2	Гіркокаштан звичайний	4	26,7	20,8	23,2	32,1	26,45	25,37	26,70	-0,25	-1,33	0,00
3	Шовковиця біла	4	9,7	7,3	9,8	13	10,15	10,03	9,70	0,45	0,33	0,00
4	Абрикос звичайний	5	11,32	8	11,9	14	11	11,3	12,15	-0,32	-0,02	0,83
5	Клен несправжньо-платановий	5	26,73	21,3	25,5	33,3	27,3	26,7	28,09	0,57	-0,03	1,36
6	Клен несправжньо-платановий	5	21,93	19,7	22,3	25	22,35	22,33	22,49	0,42	0,4	0,56
7	Клен несправжньо-платановий	4	35,25	31,3	35,3	37,6	34,45	34,73	35,25	-0,8	-0,52	0,00
8	Горіх сірий	5	3,06	2,5	2,9	4,7	3,6	3,37	3,20	0,54	0,31	0,14
9	Граб звичайний	4	17,13	9,2	19,25	25,85	17,53	18,1	17,13	0,395	0,97	0,00
10	Клен цукристий	8	26,44	17,5	26,8	43,8	30,65	29,37	32,09	4,21	2,93	5,65
11	Клен цукристий	5	29,65	23,6	28,1	33	28,3	28,23	31,16	-1,35	-1,42	1,51
12	Верба плачуча	8	5,81	4,6	5,7	9,5	7,05	6,6	6,55	1,24	0,79	0,74
13	Туя західна	7	9,54	7,4	9,7	14,8	11,1	10,63	10,85	1,56	1,09	1,31
14	Туя західна	6	11,4	6,9	12,6	15	10,95	11,5	12,98	-0,45	0,1	1,58
15	Золотий дощ звичайний	5	6,25	5,55	6,3	7	6,28	6,28	6,43	0,025	0,03	0,18
16	Золотий дощ звичайний	6	8,41	6,55	8,4	12,5	9,53	9,15	9,08	1,115	0,74	0,67
17	Золотий дощ звичайний	6	8,58	5,6	8,9	13,85	9,73	9,45	9,99	1,145	0,87	1,41
18	Туя західна	4	17,43	15,75	17,5	19,3	17,53	17,52	17,43	0,095	0,09	0,00
19	Катальпа гібридна	4	7,15	3,8	7,4	11,6	7,7	7,6	7,15	0,55	0,45	0,00
20	Черешня домашня	6	6,84	4,6	6,8	13,15	8,88	8,18	7,86	2,035	1,34	1,02
21	Туя західна	5	9,94	9	9,7	11,4	10,2	10,03	10,18	0,26	0,09	0,23

Продовження таблиці Д. 5

№ з.п.	Деревний вид	n стовбурів	\bar{D} (істене значення), см	D min, см	D mn, см	D max, см	\bar{D} (min/max), см	\bar{D} (min/mn/max), см	чотири найбільших стовбури, см	Похибка вимірювання		
										Δ (min/max), см	Δ (min/mn/max), см	Δ (чотири найбільших стовбури), см
22	Туя західна	6	10,87	5,1	10	18,8	11,95	11,3	12,85	1,08	0,43	1,98
23	Туя західна	5	10,61	9,1	10,3	14,6	11,85	11,33	10,99	1,24	0,72	0,38
24	Туя західна	7	8,09	5,25	9,3	14,1	9,68	9,55	9,91	1,585	1,46	1,82
25	Туя західна	7	10,22	6,4	10	13,5	9,95	9,97	11,89	-0,27	-0,25	1,67
26	Туя західна	4	12	10,85	12,2	13,65	12,25	12,23	12,00	0,25	0,23	0,00
27	Туя західна	6	10,05	8,9	10,4	13,2	11,05	10,83	10,60	1	0,78	0,55
28	Туя західна	5	12,04	9,5	11,85	14,7	12,1	12,02	12,68	0,06	-0,02	0,64
29	Туя західна	5	10,49	6,3	10,9	13,75	10,03	10,32	11,54	-0,47	-0,17	1,05
30	Туя західна	5	10,69	7,3	11,9	13,2	10,25	10,8	11,54	-0,44	0,11	0,85
31	Туя західна	4	12,36	9,45	11,85	14,85	12,15	12,05	12,36	-0,21	-0,31	0,00
32	Туя західна	4	12,05	10,65	12,4	13,5	12,08	12,18	12,05	0,03	0,13	0,00
33	Туя західна	6	11,47	9,7	12,65	13,65	11,68	12	12,30	0,21	0,53	0,83
34	Туя західна	5	10,73	8,55	11,45	12,8	10,68	10,93	11,28	-0,06	0,2	0,54
35	Туя західна	5	11,27	8,7	11,85	13,2	10,95	11,25	11,91	-0,32	-0,02	0,64
36	Туя західна	6	9,55	6,1	10,2	14,6	10,35	10,3	10,99	0,8	0,75	1,44
37	Верба вавилонська	8	9,55	7,75	9,45	12,85	10,3	10,02	10,65	0,75	0,47	1,10
38	Туя західна	4	14,91	9,4	19,1	21,2	15,3	16,57	14,91	0,39	1,66	0,00
39	Туя західна	4	15,56	12,35	14,75	18,05	15,2	15,05	15,56	-0,36	-0,51	0,00
40	Туя західна	4	15,13	14,25	15,35	16,65	15,45	15,42	15,13	0,32	0,29	0,00
41	Туя західна	4	16,83	12,4	15,25	20	16,2	15,88	16,83	-0,63	-0,95	0,00
42	Шовковиця біла	5	9,09	5,35	9,45	12,55	8,95	9,12	10,03	-0,14	0,03	0,93
43	Туя західна	6	16,24	12,65	17,05	21,55	17,1	17,08	17,86	0,86	0,84	1,62
44	Клен ясенелистий	8	17,31	10,85	17,25	24,5	17,68	17,53	19,83	0,365	0,22	2,52
45	Туя західна	5	14,28	10,75	14,3	16,9	13,83	13,98	15,16	-0,46	-0,3	0,88
46	Туя західна	4	14,55	10,5	14,3	18,5	14,5	14,43	14,55	-0,05	-0,12	0,00
47	Туя західна	4	15,81	11,75	15,35	21,65	16,7	16,25	15,81	0,89	0,44	0,00
48	Туя західна	5	11,94	5,95	11,3	15,75	10,85	11	13,44	-1,09	-0,94	1,50

№ з.п.	Деревний вид	п стовбурів	\bar{D} (істене значення), см	D min, см	D mn, см	D max, см	\bar{D} (min/max), см	\bar{D} (min/mn/max), см	чотири найбільших стовбури, см	Похибка вимірювання		
										Δ (min/max), см	Δ (min/mn/max), см	Δ (чотири найбільших стовбури), см
49	Туя західна	4	12,55	11,85	12,55	13,95	12,9	12,78	12,55	0,35	0,23	0,00
50	Туя західна	7	11,21	6,4	11,2	17,2	11,8	11,6	13,71	0,59	0,39	2,51
51	Туя західна	5	13,77	10,9	12,1	17,3	14,1	13,43	14,49	0,33	-0,34	0,72
52	Туя західна	6	11,72	6,3	11,9	17,1	11,7	11,77	13,45	-0,02	0,05	1,73
53	Туя західна	4	16,23	12,2	16,5	19,6	15,9	16,1	16,23	-0,33	-0,13	0,00
54	Туя західна	4	12,83	6,3	8,8	18,7	12,5	11,27	12,83	-0,33	-1,56	0,00
55	Туя західна	4	14,6	10	14,45	19,65	14,83	14,7	14,60	0,23	0,1	0,00
56	Туя західна	4	15,18	5,55	16,35	21,45	13,5	14,45	15,18	-1,68	-0,73	0,00
57	Туя західна	5	12,81	5,2	13,85	18,9	12,05	12,65	14,71	-0,76	-0,16	1,90
58	Туя західна	4	16,15	13,35	16,5	21,2	17,28	17,02	16,15	1,13	0,87	0,00
59	Туя західна	6	14,04	7,4	13,55	17,7	12,55	12,88	16,06	-1,49	-1,16	2,02
60	Туя західна	8	12,73	8,6	13,3	19	13,8	13,63	15,48	1,07	0,9	2,74
61	Туя західна	5	13,91	6,8	11,8	21,1	13,95	13,23	15,69	0,04	-0,68	1,78
62	Туя західна	4	18,9	12,8	18,7	23,8	18,3	18,43	18,90	-0,6	-0,47	0,00
63	Туя західна	6	18,97	8,9	20	24,4	16,63	17,75	22,50	-2,35	-1,22	3,53
64	Туя західна	4	15,31	9,4	13	19,9	14,65	14,1	15,31	-0,66	-1,21	0,00
65	Туя західна	5	15,82	10,9	18,2	19,1	14,98	16,05	17,06	-0,85	0,23	1,24
66	Туя західна	6	14,59	10	14,3	18,9	14,45	14,4	16,20	-0,14	-0,19	1,61
67	Туя західна	5	9,03	6,45	9,95	13,5	9,95	9,95	9,68	0,92	0,92	0,65
68	Абрикос звичайний	6	6,08	4,3	6,2	7,8	6,05	6,1	6,68	-0,03	0,02	0,59
69	Туя західна	4	4,48	3,8	4,5	5,3	4,55	4,53	4,48	0,07	0,05	0,00
70	Вишня японська	7	2,73	2	2,7	3,7	2,85	2,8	3,15	0,12	0,07	0,42
71	Туя західна	5	9,95	6,85	9,6	13,4	10,13	9,95	10,73	0,175	0	0,78
72	Туя західна	5	15,41	7,8	14,1	19,8	13,78	13,88	17,31	-1,64	-1,53	1,90
73	Туя західна	4	21,23	18,2	21,5	22,8	20,45	20,8	21,23	-0,78	-0,43	0,00
74	Шовковиця біла	4	8,93	7,45	8,2	12,1	9,75	9,23	8,93	0,82	0,3	0,00
75	Туя західна	7	13,69	8,05	13,1	18,9	13,45	13,33	16,80	-0,24	-0,36	3,11

Додаток Ж

Таблиця Ж

Середні показники модельних дерев для визначення висоти

Деревний вид	Кількість дерев, шт.	Середній діаметр, см	Середня висота дерев (м) за вимірювання різними приладами				
			<i>Suunto PM-5</i>	<i>Haglöf EC II-D</i>	<i>TruPulse 360 (VD)</i>	<i>Блюме -Лейса</i>	<i>TruPulse 360 (HD HT) (контроль)</i>
Береза повисла	14	39,39	17,8	17,8	17,3	17,6	17,9
Береза пухнаста	1	21,70	20,4	20,0	17,3	20,2	19,0
В'яз гладкий	1	38,30	16,3	16,0	15,5	16,4	16,2
Гіркокаштан звичайний	108	24,34	10,1	10,1	9,4	10,2	10,1
Глід колючий	2	14,95	5,4	5,4	6,2	5,5	5,0
Горіх грецький	2	29,50	12,3	12,6	10,4	12,0	11,6
Горіх чорний	1	54,70	8,8	9,6	7,8	8,6	8,5
Горобина звичайна	3	13,77	8,1	7,9	8,0	7,9	8,0
Граб звичайний	4	32,48	17,2	17,6	15,2	17,5	16,7
Дуб звичайний	4	58,31	20,2	19,8	17,9	20,1	19,6
Дуб червоний	1	54,80	18,8	18,6	16,3	18,6	18,3
Каштан їстівний	1	38,00	15,0	14,8	12,9	14,5	14,9
Клен гостролистий	13	32,09	15,5	15,3	13,9	15,5	15,5
Клен несправжньо-платановий	3	24,63	14,1	13,9	12,8	13,7	13,7
Липа серцелиста	31	27,31	13,5	13,5	12,6	13,5	13,5
Робінія звичайна	3	45,43	18,0	18,3	16,9	18,7	18,3
Сосна звичайна	3	45,77	23,0	22,7	21,5	23,7	23,4
Тис ягідний	1	1,20	1,9	2,0	1,7	2,0	1,8
Тополя італійська	3	99,63	19,5	19,7	18,9	19,9	19,6
Тополя пірамідальна	4	71,45	31,9	32,1	29,8	32,0	32,0
Туя західна	79	19,12	8,4	8,4	8,1	8,4	8,4
Туя складчаста	3	6,47	3,6	3,2	3,3	3,6	3,5
Церсис канадський	1	7,60	3,5	4,1	4,0	3,6	4,1
Шовковиця біла	1	28,10	7,7	7,2	6,5	7,5	6,2
Яблуня домашня	1	27,10	8,5	8,4	8,0	8,5	8,9
Ялина звичайна	9	34,83	16,6	16,7	16,5	17,1	16,7
Ялина сербська	1	22,30	11,1	11,1	11,0	11,1	11,0
Ялівець звичайний	1	3,30	3,5	3,5	3,4	3,3	3,3

Додаток И

Таблиця И

Поточна продукція ЕП за оцінкою i-Tree есо

Деревний вид	Продуктивність депонування вуглецю, кг/рік	Вартість депонованого вуглецю, грн/рік	Запобігання викидам вуглецю, кг/рік	Киснепродуктивність, кг/рік	Вартість збереженої енергії, грн/рік	Загальна річна вигода, грн/рік
Абрикос звичайний	12,2	67,69	3,5	32,7	38,55	125,71
Айлант найвищий	35,7	197,23	-	95,2	-	197,23
Береза повисла	538,1	2972,41	96,3	1434,5	1099,46	4604,6
Біота східна	10,4	57,25	22,5	27,6	267,03	448,6
Бузина чорна	3,2	17,45	-	8,4	-	17,45
Бук лісовий	117,3	647,9	126,3	312,6	1461,67	2807,62
В'яз гладкий	10,9	60,27	3,4	29,1	36,74	115,89
В'яз шорсткий	82,4	454,64	196,4	219,3	2322,71	3861,75
Верба біла	35,8	197,59	17,7	95,3	209,2	504,35
Верба матсудана	44,3	244,98	-	118,2	-	244,98
Верба мацудана	0,8	4,69	-	2,3	-	4,69
Вишня домашня	16,9	93,74	-	45,2	-	93,74
Гіркокаштан звичайний	996,1	5502,51	228,6	2655,7	2633	9397,6
Глід колючий	19,3	107,02	-	51,6	-	107,02
Горіх грецький	21	116,03	-	56	-	116,03
Горобина звичайна	98,8	545,53	36,3	263,3	429,32	1175,08
Горобина скандинавська	8,9	49,17	3,9	23,7	45,22	115,84
Граб звичайний	43,6	241,41	-	116,5	-	241,41
Груша домашня	10,6	58,34	29,3	28,2	346,45	566,75
Дуб звичайний	194,4	1073,88	71,4	518,2	800,75	2269,2
Дуб червоний	72,7	401,55	26,9	193,8	311,67	861,93
Золотий дощ звичайний	16	87,53	-	42,2	-	87,53
Катальпа бегонієвидна	90,1	497,59	1,2	240	2,43	507,03
Катальпа чудова	1,8	9,92	-	4,8	-	9,92
Каштан їстівний	2,9	16,22	-	7,8	-	16,22

Деревний вид	Продуктивність депонування вуглецю, кг/рік	Вартість депонованого вуглецю, грн/рік	Запобігання викидів вуглецю, кг/рік	Киснепродуктивність, кг/рік	Вартість збереженої енергії, грн/рік	Загальна річна вигода, грн/рік
Кипарисовик горохоплідний	9	50,26	-	24,3	-	50,26
Клен гостролистий	57,3	316,96	-	153	-	316,96
Клен польовий	14,4	79,54	-	38,4	-	79,54
Клен татарський	12,2	67,57	-	32,5	-	67,57
Клен ясенелистий	14,6	80,63	77	38,9	912,09	1418,07
Клен несправжньоплатановий	305,4	1687,3	-	814	-	1687,3
Липа серцелиста	669,8	3702,14	333,5	1786,5	3945,44	9490,26
Плоскогілочник східний	462	2552,92	618,8	1232,1	7246,87	13219,58
Сумах оленерогий	15,5	85,78	31	41,4	366,12	622,69
Туя гігантська	7,4	40,53	30,3	19,5	345,26	553,43
Черешня домашня	32,9	180,87	3,4	87,2	37,04	236,38
Шовковиця біла	130,5	720,87	22,6	347,9	267,46	1113,07
Яблуня домашня	17,3	95,4	-	46	-	95,4
Яблуня Надзведського	5,8	32,13	-	15,5	-	32,13
Ялина європейська	13,5	74,29	-	35,8	-	74,29
Ялина колюча	178,6	985,3	304,7	475,4	3616,86	6285,66
Ялина сербська	4,1	22,51	-	10,9	-	22,51
Ялиця біла	2,6	14,43	-	7	-	14,43
Ясен звичайний	5,6	30,53	6,2	14,8	73,19	137,85