



<http://fasu.nltu.edu.ua>
<https://doi.org/10.36930/412605>
Article received 2025.12.16
Article revised 2026.04.03
Article accepted 2026.04.16
Article published 2026.05.22

ISSN 1991-606X print
ISSN 2616-5015 online
@ ✉ Correspondence author
Vasyl Lavnyy
lavnyy@gmail.com
103 General Chuprynka St.,
Lviv, 79057, Ukraine

This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 (CC BY 4.0) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)



УДК 630*2

Інтегровані методи наближеного до природи лісівництва в ялицевих лісах Українських Карпат

В.В. Лавний¹, А.П. Іванюк², О.Б. Михайлів³, Т.В. Юськевич⁴, Б.З. Нагорняк⁵,
П. Шпатгельф⁶

Висвітлено результати закладання мартелоскопа у 85-річному ялицевому деревостані вологої букової яличини Розлуцького лісництва Самбірського надлісництва ДП «Ліси України» у рамках міжнародної програми Європейського лісового інституту «Integrate+». Мартелоскоп закладено у формі квадрата площею 1 га (100 x 100 м) з поділом на чотири секції розміром 50 × 50 м.

На ділянці знаходиться 663 дерев, з них 97,6% дерев ялиці білої, 1,6% – ялини європейської і 0,8% – інші види. Деревостан відзначається високою продуктивністю (запас – 788 м³·га⁻¹, I клас бонітету, середній діаметр – 34,5 см, середня висота – 27,4 м). Розподіл за діаметром характеризується помірною правосторонньою асиметрією ($A = 0,261$) та негативним ексцесом ($E = -0,275$). Для висот зафіксовано виражену лівосторонню асиметрію ($A = -0,743$) та негативний ексцес ($E = -0,561$).

На мартелоскопі обліковано 136 дерев з мікрооселищами (21% від загальної кількості), на яких

¹ Лавний Василь Володимирович – академік Лісівничої академії наук України, доктор сільськогосподарських наук, професор, проректор з наукової роботи. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. E-mail: lavnyy@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2069-9026>

² Іванюк Андрій Петрович – кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри лісових культур і лісової селекції. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. E-mail: a.ivanuk@nltu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1489-4733>

³ Михайлів Оксана Богданівна – кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри лісівництва. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. E-mail: o.mychayliv@nltu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6794-9670>

⁴ Юськевич Тарас Васильович – кандидат сільськогосподарських наук, завідувач кафедри ботаніки, деревинознавства та недревних ресурсів лісу. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. E-mail: t.yuskevich@nltu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2735-0492>

⁵ Нагорняк Богдан Зіновійович – асистент кафедри лісової таксації та лісовпорядкування. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. E-mail: b.nahornjak@nltu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-1184-6375>

⁶ Шпатгельф Петер – кандидат наук, професор факультету лісу і довкілля. Університет сталого розвитку Еберсвальде, вул. Альфреда Мьоллера, 1, м. Еберсвальде, 16225 Німеччина. E-mail: Peter.Spathelf@hnee.de ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0668-2319>

встановлено 12 різновидів оселищ. Найбільше дерев відмічено з ранами і наростами на стовбурі та скелетних гілках, спричинених раком ялиці (GR3).

Сумарний запас органічного вуглецю, депонованого у фітомасі досліджуваного лісостану, становить $197,1 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$. Основним депонентом вуглецю є ялиця біла, акумулюючи 99,1% від загальної маси. У просторовій структурі фітомаси найбільша кількість органічного вуглецю зосереджена у стовбуровій деревині – 135,4 т (68,7% від загальної кількості). На підземну фітомасу припадає 18,1% депонованого вуглецю, а компоненти крони акумулюють сумарно 13,2% вуглецю.

Змодельовано і порівняно лісівничо-екологічну ефективність трьох способів проведення рубок переформування у ялицевому деревостані (групово-вибіркового, вибіркового та комбінованого) з урахуванням вимог щодо збереження біорізноманіття. Серед них найперспективнішим є комбінований спосіб. Він інтегрує одночасне створення відновлювальних «вікон» для появи самосіву і підросту тінювитривалої ялиці білої та рівномірне розріджування прилеглих смуг деревостану.

Ключові слова: мартелоскоп; біорізноманіття; ялиця біла; лісівничо-таксаційні показники; мікрооселища; лісознавство.

Вступ (Introduction).

Ялиця біла (*Abies alba* Mill.) є одним із основних лісотвірних деревних видів Європи. Вона формує як чисті, так і мішані деревостани та росте у різноманітних природно-кліматичних умовах і є

важливим екологічним стабілізатором європейських лісів (Mauri et al., 2016). Ялицеві ліси займають площу понад 10 млн га і поширені в Європі від Піренеїв до Карпат і Балканського півострова (Bledý et al., 2024) (рис. 1).



Рис. 1. Ареал ялиці білої (Caudullo et al., 2017)

Fig. 1. Range of silver fir (Caudullo et al., 2017)

Реакція лісостанів ялиці білої на зміну клімату суттєво відрізняється залежно від регіону (Gazol et al., 2015; Mihai et al., 2021). Це переважно гірський деревний вид, який зазвичай росте на висотах від 500 до 1500 м над рівнем моря, але в окремих випадках трапляється на висотах від 300 до 2000 м (Takhtajan, 2009). Адаптаційний потенціал і динаміка радіального приросту ялицевих деревостанів в умовах периферійних або екологічно напружених лісорослинних зон значною мірою лімітуються гідротермічним режимом вегетаційного періоду (Tudoran et al., 2021).

За даними Державного агентства лісових ресурсів (2025), ялиця біла в Україні займає близько 1,4% площі всіх лісів і посідає десяте місце серед лісотвірних деревних видів. Її поширення має виражений регіональний характер із переважанням у західній частині країни в гірських умовах Карпат.

За геоботанічним районуванням Українських Карпат (Голубець, 2003) ялицеві ліси формують три субформації – передгірські дубово-буково-ялицеві, гірські буково-ялицеві та смереково-буково-ялицеві ліси.

Ялиця біла в Карпатах не формує самостій-

ного рослинного поясу, а також не утворює природних монодомінантних лісостанів. Чисті яличники, якщо трапляються, то тільки антропогенного походження, які виникли на нелісових землях або внаслідок цілеспрямованого видалення супутніх порід під час проведення рубок догляду (Генсірук, 2002).

Ялицю білу відносять до групи основних типотвірних деревних видів Українських Карпат і за площею поширення в цьому регіоні вона посідає третє місце після ялини європейської та бука лісового (Гриник, 2011). Типи лісу формує виключно в сугрудах і грудях. Оптимальними умовами зволоження для ялиці білої є вологі гіротопи, у свіжих вона трапляється рідше (Герушинський, 1996).

У зоні Українських Карпат ялицеві типи лісу розповсюджені на площі понад 250 тис. га і загалом ялиця біла формує дев'ять типів лісу. Найбільш поширеними і господарсько-цінними є вологі смереково-букові суяличини та яличини, частка яких становить близько 80% ялицевих типів лісу. Часто трапляються вологі дубово-букові суяличини і яличини (16%). Свіжі ялицеві типи лісу займають площу не більше 2% (Герушинський, 1996).

Важливо, що перебуваючи майже на східній межі ареалу поширення виду, в гірських умовах Карпат ялицеві деревостани досягають I класу бонітету, а інколи – навіть I^a та I^b класів бонітету (Гриник, 2011; Тереля, 2004).

Затверджена в Україні «Стратегія переходу до наближеного до природи лісівництва» (2025) повністю гармонізує з «Лісовою стратегією ЄС до 2030 року» (2021) і спрямована на підвищення

багатофункціональної ролі лісів щодо збереження біорізноманіття та стійкості до зміни клімату.

Одним із основних напрямів реалізації стратегії з наближеного до природи лісівництва є відмова від суцільних рубок головного користування на користь вибіркового, що забезпечить безперервність лісового вкриття, відновлення природної структури лісів, формування різновікових багаторусних деревостанів (Krynytskyu & Lavnyu, 2024). Виконання цих завдань вимагає розробки нових підходів, які визначатимуть, як саме і з якою інтенсивністю проводити заходи з переформування лісів. Окремі дослідники (Dobrowolska et al., 2017) зазначають, що природне поновлення *Abies alba* буде мінімальним або взагалі припиниться, якщо і надалі використовувати суцільно-лісосічний спосіб рубки. Тому автори рекомендують впроваджувати наближені до природи системи лісівництва – дрібноконтурні поступові і вибіркові рубки, які зберігають необхідний для самосіву і підросту ялиці рівень затінення.

Процес переформування одновікових ялицевих деревостанів у різновікові реалізують через систему вибіркового та комбінованого рубок (рис. 2). У разі недостатності природного поновлення практикують створення піднаметових культур ялиці білої (Lavnyu et al., 2025). Успішність та просторова конфігурація природного поновлення ялиці білої під наметом мішаних деревостанів безпосередньо залежить від світлового режиму лісового середовища та наявності мікроосередків підросту (Hofmeister et al., 2008).

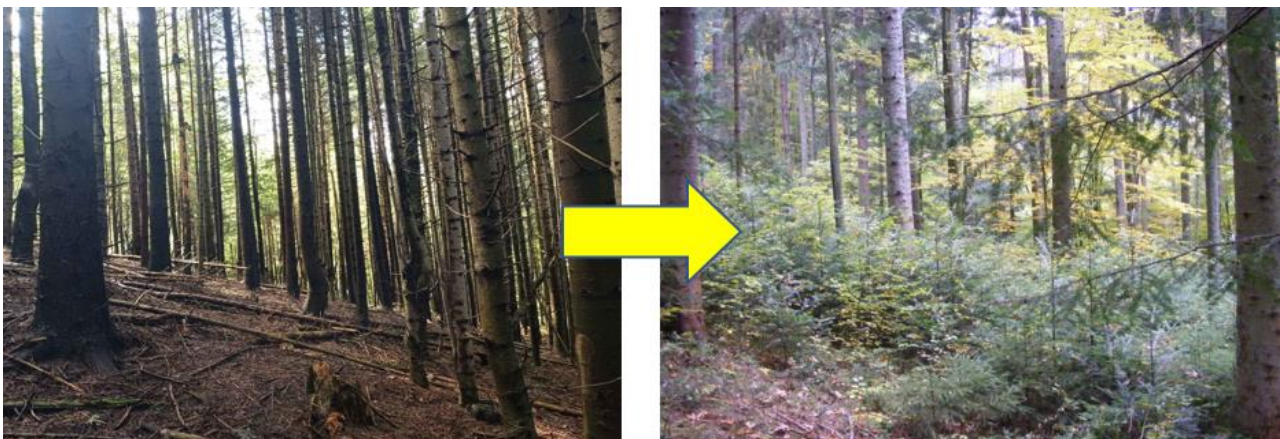


Рис. 2. Процес переформування одновікових ялицевих деревостанів
Fig. 2. The process of the transformation of even-aged silver fir stands

Особливу увагу потрібно приділити формуванню «вікон» для появи і розвитку підросту, площа яких не повинна перевищувати 700 м² (Tkach et al., 2023). Для стимуляції світлового режиму в прилеглих зонах навколо «вікон» доцільно проектувати зріздування смуг.

Інтенсивність першого прийому рубки переформування зазвичай не перевищує 25% за запасом, тоді як подальші прийоми рубки регламентуються величиною поточного приросту. Оптимальний інтервал повторюваності становить 5-10 років, проте за умов незадо-

вільної динаміки природного поновлення термін проведення робіт може бути скорочено.

Селекція дерев для видалення базується на принципах фітоценотичної стійкості. Першочерговому видаленню підлягають інвазійні види. Лісівничий догляд спрямований на розріджування густих біогруп для інтенсифікації розвитку крон перспективних дерев та стимуляції їхньої репродуктивної здатності (Лавний та ін., 2025a).

Ефективна трансформація структури деревостанів потребує попереднього закладання репрезентативних пробних площ (Debryniuk et al., 2025). Такий захід дає змогу здійснити комплексне оцінювання видового складу, вертикальної та горизонтальної структури деревостану, біотичної резистентності деревних видів і стану природного поновлення. Порівняльний аналіз фактичних параметрів деревостану із цільовим еталоном є основою для проектування лісівничих заходів. Використання вичерпних демонстраційних даних мартелоскопа дає змогу моделювати різноманітні сценарії проведення рубок, забезпечуючи можливість для їхнього порівняльного аналізу (Лавний та ін., 2025b).

Мета дослідження – комплексно оцінити лісівничо-таксаційну структуру та біотопний потенціал одновікового ялицевого деревостану на базі закладеного мартелоскопу в умовах вологої букової яличини для наукового обґрунтування та розроблення інтегрованих підходів і вдосконалення методичних засад проведення рубок переформування на принципах наближеного до природи лісівництва.

Для досягнення поставленої мети роботи проаналізовано просторову структуру та видовий склад досліджуваного деревостану; здійснено кількісний облік і картування біотопних дерев і наявних мікрооселищ; змодельовано і здійснено порівняння лісівничо-екологічної ефективності трьох сценаріїв рубок переформування (групово-вибіркового, вибіркового та комбінованого) з урахуванням вимог щодо збереження біорізноманіття.

Об'єкти і методика досліджень (Objects and methods).

Об'єкт дослідження – процес природного формування, просторово-таксаційна структура та біотопний потенціал 85-річного деревостану з перевагою у складі ялиці білої в умовах вологої букової яличини Розлуцького лісництва Самбірського надлісництва ДП «Ліси України».

Предмет дослідження – лісівничо-таксаційні особливості росту, диференціація дерев за ступенями товщини, кількісна та якісна структура мікрооселищ, а також характер структурно-просторових змін у деревостані за

реалізації різних сценаріїв рубок переформування.

Експериментальну пробну площу (мартелоскоп) закладено у формі квадрата площею 1 га (100 × 100 м). Географічні координати кутових точок фіксували за допомогою GPS-позиціонування. Полігон розділяли на чотири секції розміром 50 × 50 м у напрямку проти годинникової стрілки, починаючи з північно-східного кута. Геометричний центр кожної секції визначали методом трикутника.

Для забезпечення довговічності нумерації на постійній пробній площі здійснювали попередню підготовку надійної поверхні стовбурів. У дерев із грубою тріщинуватою корою верхній відлущуваний шар забирали стругом без пошкодження камбіальної зони. Стовбури з гладкою корою очищали від епіфітів металевою щіткою.

Постійне маркування наносили стійкою фарбою на висоті 1,3 м. Елементи маркування включали горизонтальну лінію завдовжки 10 см (орієнтир для вимірювання діаметра стовбура), вище якої зазначали порядковий номер дерева та індекс відповідної секції.

Суцільному обліку підлягали всі живі дерева з діаметром стовбура більше 7 см. Програма таксаційних вимірювань включала визначення діаметра стовбура на висоті 1,3 м (з точністю до 1 мм за допомогою мірної стрічки); загальної висоти дерева та висоти початку крони (з точністю до 0,1 м); просторових координат кожного стовбура. Збір просторово-геодезичних даних та вимірювання висот виконували з центру кожної секції за допомогою лазерного далекоміра-висотоміра VERTEX LASER GEO, фіксуючи координати (азимут та відстань) до кожного дерева. Карти просторового розподілу дерев формували за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення «Integrate+» (Kraus et al., 2018).

Паралельно з таксаційними вимірюваннями проводили експертно-візуальну оцінку біотопного потенціалу дерев. Ідентифікацію та класифікацію мікрооселищ здійснювали згідно з міжнародним каталогом Європейського лісового інституту (Kraus et al., 2016). Оцінювали наявність та морфологічні параметри мікроструктур, які є екологічними нішами для супутньої біоти: дупел і порожнин, механічних пошкоджень стовбура, локальних відшарувань кори, мертвих гілок у кроні, деформацій, епіфітної флори, гнізд, а також смоловиділень та нагромаджень мікрогрунту. На основі отриманих даних сформовано базу вихідних екологічних матриць для оцінювання мікросередовищ існування деревостану.

Результати досліджень (Results).

Для закладання мартелоскопа у травні 2025 р. було вибрано ділянку деревостану відповідного віку, складу і повноти у лісовому фонді Розлуцького лісництва (кв. 6, вид. 24). Мартелоскоп закладено у деревостані, що представляє зональний тип карпатських ялицевих лісів (Герушинський, 1996). За лісівничо-екологічною типологією ділянка належить до типу лісу волога букова яличина (*Dз-бкЯц*) з висотою над рівнем моря 570-590 м. Рельєф ділянки неоднорідний, схили східної та південної експозицій, ухил поверхні становить 5-10°. Ґрунти бурі гірсько-лісові суглинисті середньої потужності. Основні

кліматичні характеристики району розташування ділянки такі: середньорічна температура становить 7,0 град., середньорічна кількість опадів – 870 мм, тривалість вегетаційного періоду – 192 дні.

На ділянці обліковано 663 дерева, з них 97,6% дерев ялиці білої, 1,6% – ялини європейської і 0,8% – інших деревних видів. Розташування дерев характеризується випадковим типом, горизонтальні проекції крон дерев вкривають значну частину площі, що свідчить про відсутність прогалин, які зумовлені впливом господарської діяльності. Основні лісівничо-таксаційні показники деревостану наведені в табл. 1.

Таблиця 1. Лісівничо-таксаційні показники деревостану на мартелоскопі
Table 1. Forest mensuration indicators of stand on the marteloscope

Склад деревостану	Вік, років	Клас бонітету	Елемент лісу	Середній діаметр, см	Середня висота, м	Абсолют. повнота, м ² ·га ⁻¹	Запас, м ³ ·га ⁻¹	Кіль- кість дерев, шт.·га ⁻¹
10Яцб + Ялє, Вбк, Бп, Гз	85	І	Ялиця біла	34,5	27,4	60,7	782	647
			Ялина європейська	27,7	21,7	0,5	6	11
			Верба козяча	10,8	7,9	—	—	3
			Береза повисла	16,0	10,8	—	—	1
			Граб звичайний	8,0	11,4	—	—	1
Разом						61,2	788	663

Джерело: результати власних наукових досліджень авторів

Продуктивність та вертикальний розвиток панівного ярусу у вологій буковій яличині є результатом інтегральної взаємодії між лісорослинним потенціалом екотопу та міжвидовою конкуренцією всередині деревостану (Pinto et al., 2008). В умовах досліджуваного типу лісу у віці 85 років сформувався високопродуктивний деревостан І класу бонітету зі значним запасом стовбурової деревини. Варто відзначити відсутність у складі характерної домішки у цьому типі лісу – бука лісового, що може бути пов'язано з високою повнотою ялицевого деревостану. Таксаційні показники деревостану свідчать про максимальне використання лісорослинного потенціалу та високу товарну цінність стовбурової деревини. З лісівничого погляду,

такий стан деревостану підтверджує доцільність проведення рубок переформування, спрямованих на розріджування намету панівного деревного виду, деконцентрацію біогруп з метою появи підросту та стимулювання розвитку різновікової структури деревостану.

Для об'єктивного оцінювання структурно-просторової організації лісового масиву та прогнозування динаміки його розвитку в процесі переформування ключове значення має дослідження статистичних закономірностей розподілу біометричних показників дерев. Математично-статистичний аналіз розподілу за діаметром та висотою дає змогу оцінити ступінь неоднорідності деревостану і рівень його фітоцено-тичної диференціації (табл. 2).

Таблиця 2. Статистики розподілу деревостану за діаметром та висотою
Table 2. Statistics of stand diameter and height distribution

Таксаційний показник	Середнє значення	Статистичні показники							
		Ліміти		Розмах варіації	Дисперсія	Коефіцієнт варіації	Точність	Асиметрія	Екцес
		min	max						
Діаметр	31,3 ^{+0,54}	8,0	95,3	87,3	189,98 ^{+10,44}	44,0 ^{+1,21}	1,71	0,261 ^{+0,104}	-0,275 ^{+0,193}
Висота	23,9 ^{+0,29}	5,5	36,4	30,9	56,93 ^{+3,13}	31,5 ^{+0,87}	1,22	-0,743 ^{+0,107}	-0,561 ^{+0,195}

Аналіз отриманих даних свідчить про глибоку фітоценотичну диференціацію та складну просторову структуру досліджуваного деревостану: коефіцієнт варіації діаметрів дерев є дуже високим ($V = 44,0\%$), що підтверджує природне походження лісостану. Варіабельність за висотою є дещо меншою ($V = 31,5\%$), проте залишається значною. Показники точності дослідів ($P = 1,22\text{--}1,71\%$) свідчать про високу репрезентативність вибірки та достовірність отриманих результатів. Оскільки значення P є значно меншим ніж 5% , розраховані середні показники можуть вважатися надійними для подальшого аналізу та формулювання висновків.

Розподіл за діаметром характеризується помірно правосторонньою асиметрією ($A = 0,261$) та негативним ексцесом ($E = -0,275$), що вказує на розсіяний розподіл діаметрів із чисельним переважанням дерев дрібних ступенів товщини. Для висот зафіксовано виражену лівосторонню асиметрію ($A = -0,743$) та негативний ексцес ($E = -0,561$), що вказує на те, що більшість дерев зосереджено у класах з відносно значними висотами, а невелика кількість дерев має значно менші висоти порівняно зі середньою.

Виявлена структурна неоднорідність деревостану (значний розмах варіації) свідчить про його готовність до трансформації. Насадження має сформовані природні передумови для

успішного проведення рубок переформування з метою створення стійкого різновікового і багаторусного лісостану.

У контексті інтегрованого управління лісовими ресурсами та збереження біорізноманіття особливу увагу приділяють деревам-носіям спеціальних морфологічних структур – мікрооселищ (Лавний та ін., 2025a). Аналіз емпіричних даних, отриманих на базі експериментального полігону (мартелоскопу), дав можливість диференціювати кількісний та якісний склад екологічних ніш, інтегрованих у структуру ялицевого деревостану.

Детальне візуальне обстеження кожного дерева на ділянці мартелоскопу дало змогу виділити 136 дерев з мікрооселищами (21% від загальної кількості), на яких встановлено 12 різновидів оселищ. Найбільше дерев відзначено з ранами та наростами на стовбурі і скелетних гілках, спричинених раком ялиці (GR3). Також обліковано доволі багато дерев з втратою кори (IN1) та зі зламаними стовбурами чи пошкодженими кронами (IN2).

Картографічна модель просторової структури ділянки демонструє дифузне і куртиноподібне розміщення дерев із мікрооселищами (рис. 3). Збереження цих екземплярів під час лісівничих втручань є фундаментальною вимогою для збереження біорізноманіття.

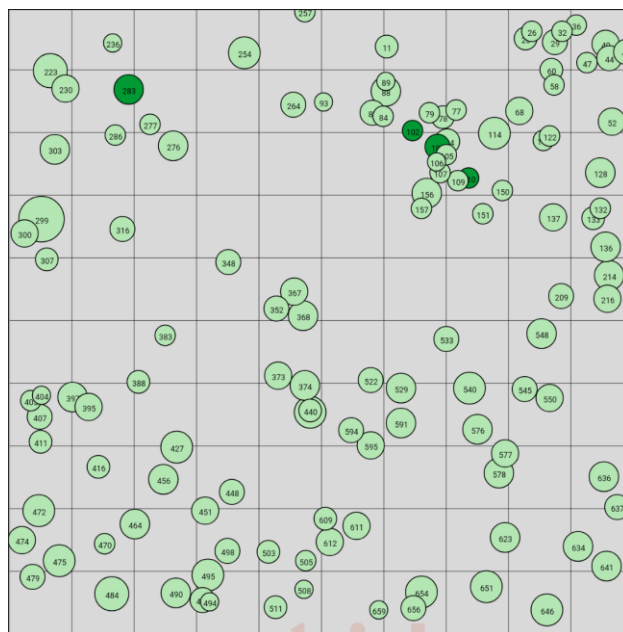


Рис. 3. Розміщення дерев з мікрооселищами на мартелескопі

Fig. 3. Location of trees with microhabitats on the marteloscope

Умовні позначення / Legend: ● *Abies alba* Mill.; ● *Picea abies* [L.] Karst.

На схемі доволі чітко виділяється локальне ядро концентрації біотопних дерев у верхній правій чверті полігону (зокрема, дерева з номерами 102, 103, 110 та суміжні з ними). Таке групування свідчить про наявність осередку

підвищеного біотопного різноманіття, який функціонує як локальний екологічний резерват всередині ялицевого деревостану.

Відповідно до результатів обліку, представлених на гістограмі розподілу мікро-

оселищ за типами, у лісостані домінують структури, пов'язані з механічними пошкод-

женнями стовбурів дерев і деструкцією деревини (рис. 4).

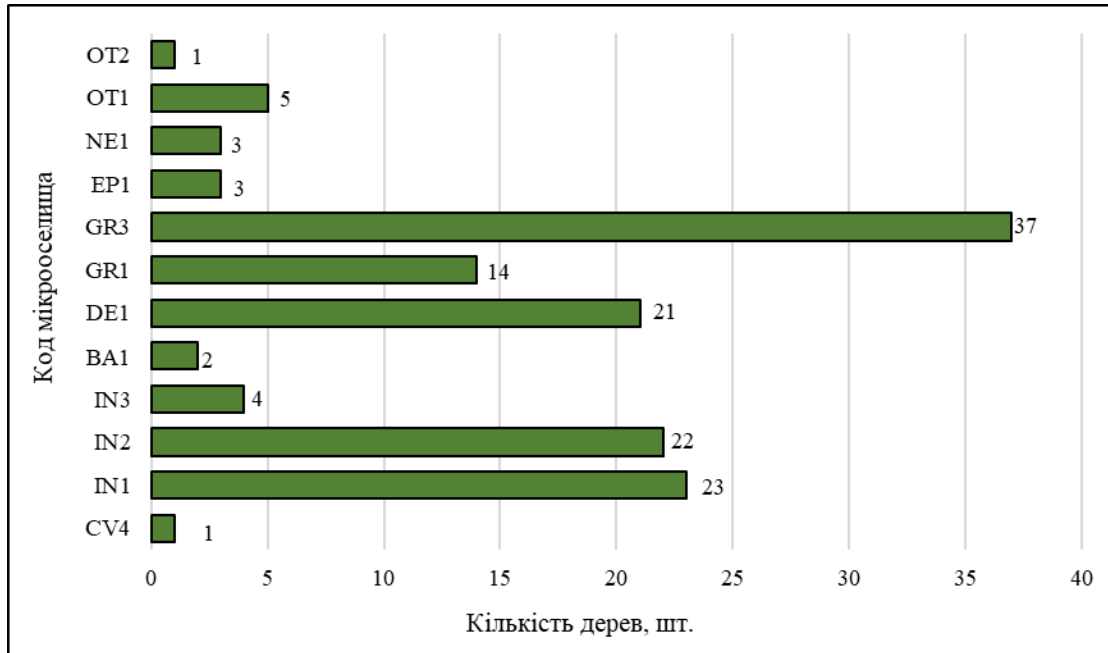


Рис. 4. Кількість дерев з мікрооселищами на мартелескопі
Fig. 4. Number of trees with microhabitats on the marteleoscope

Умовні позначення / Legend: CV4 – дендротельми і наповнені водою дупла / dendrotelms and water-filled holes; IN1 – втрати кори, відкрита заболонь / bark loss / exposed sapwood; IN2 – злами стовбура і крон, відкрита серцевина / exposed heartwood, trunk and crown breakage; IN3 – тріщини і розколювання / cracks and scars; BA1 – відмерла кора / bark pockets; DE1 – мертві гілки в кроні або відмерла верхівка / small vertebrate nest; GR1 – дупла у кореневих лапах / root buttress cavities; GR3 – ракоподібні нарости / cankers and burrs, EP1 – плодові тіла грибів / fruiting bodies fungi; NE1 – гнізда дрібних хребетних тварин / small vertebrate nest; OT1 – витоки живиці і смоляні кишеньки / sap and resin run; OT2 – мікрогрунт у корі / bark microsoil.

Джерело: результати власних наукових досліджень авторів

Абсолютним лідером за частотою трапляння є ракоподібні нарости на деревах (GR3 – 37 дерев), що вказує на специфічний фітопатологічний стан і вікову структуру популяції. Високою представленістю характеризуються також оселища, пов'язані з оголенням заболоні внаслідок втрати кори (IN1 – 23 дерева) та зламами стовбурів чи великих скелетних гілок із відкриттям серцевини (IN2 – 22 дерева). Ці структури є первинними екологічними нішами для комах-ксилофагів та початкових стадій грибної сукцесії.

Наявність мертвих гілок або суховершинності зафіксовано у 21 дерева. Цей тип мікрооселищ забезпечує кормову базу та місця для гніздування орнітофауни, зокрема дуплогнізних птахів. Дупла у кореневих лапах (GR1 – 14 дерев) формують захисні притулки для дрібних ссавців та амфібій. Глибокі тріщини і розколи стовбура (IN3 – 4 дерева), а також ділянки відмерлої кори (BA1 – 2 дерева) відіграють важливу роль як місця зимівлі безхребетних видів і кажанів.

Витоки живиці та смоляні кишеньки (OT1 – 5 дерев) приваблюють спеціалізовану ентомо-

фауну. Рідкісними, але критично важливими елементами є дендротельми і наповнені водою дупла (CV4 – 1 дерево), що підтримують гідрофільні організми у лісовому середовищі, а також нагромадження мікрогрунту в тріщинах кори (OT2 – 1 дерево).

Отриманий профіль різноманіття мікрооселищ свідчить про високу екологічну цінність досліджуваної ділянки. Переважання пошкоджень стовбурової частини (IN1, IN2) та наростів (GR3), поряд із наявністю великої кількості відмерлих гілок (DE1), вказує на проходження ялицевим деревостаном стадії природного старіння та диференціації.

Збереження виявленого спектра мікрооселищ у процесі лісогосподарської діяльності дасть змогу поєднати лісівничо-економічні цілі з охороною біологічного різноманіття.

Екологічне значення ялицевих деревостанів визначається не лише їхньою здатністю забезпечувати формування різноманітних мікрооселищ та підтримувати високий рівень біорізноманіття, але й важливою роллю у депонуванні вуглецю. Завдяки значним запасам фітомаси і тривалому нагромадженню органічної

речовини такі ліси виконують функцію довготривалих резервуарів вуглецю, сприяючи зменшенню концентрації парникових газів в атмосфері. У сучасних умовах зміни клімату та глобального потепління ялицеві ліси набувають особливого значення як важливий компонент регулювання кліматичних процесів і підтримання екологічної стійкості лісових екосистем. Моделювання процесів депонування органічного вуглецю у хвойних лісах має спиратися на верифіковані алометричні рівняння надземної біомаси головних лісотвірних порід (Jagodziński et al., 2019). Просторова мінливість нагромад-

ження мортмаси та акумуляції органічного вуглецю у підстилці ялицевих лісостанів безпосередньо корелює з просторовим розміщенням крон верхнього ярусу (Penne et al., 2010).

Дослідження фітомаси та кількісне оцінювання органічного вуглецю в лісових екосистемах є важливим складником моніторингу їхньої кліматорегулювальної ролі. На основі конверсії таксаційних показників ялицевого деревостану розраховано запаси органічного вуглецю за фракційними компонентами деревостану на мартелоскопі (табл. 3).

Таблиця 3. Запаси органічного вуглецю в дослідженому деревостані, т·га⁻¹
Table 3. Organic carbon stocks in the studied stand, t·ha⁻¹

Деревний вид	Крона			Стовбур	Надземна фітомаса	Корені	Деревостан
	Хвоя (листя)	Гілки	Разом				
Ялиця біла	11,717	14,060	25,777	134,156	159,933	35,345	195,278
Ялина європ.	0,089	0,107	0,196	1,019	1,215	0,269	1,484
Інші	0,018	0,022	0,041	0,212	0,252	0,056	0,308
Разом	11,824	14,189	26,013	135,387	161,400	35,670	197,070

Джерело: результати власних наукових досліджень авторів

Сумарний запас органічного вуглецю, депонованого у фітомасі досліджуваного лісостану, становить 197,1 т·га⁻¹. Головний лісотвірний деревний вид – ялиця біла відіграє роль основного депоненту вуглецю, акумулюючи 99,1% від загальної маси. У просторовій структурі фітомаси найбільша кількість органічного вуглецю зосереджена у стовбуровій деревині – 135,4 т (68,7% від загальної кількості). На підземну фітомасу (корені) припадає 18,1% депонованого вуглецю, що підтверджує потужний розвиток кореневих систем ялиці білої в цих лісорослинних умовах. Компоненти крони акумулюють сумарно 13,2% вуглецю, причому всередині самої крони спостережено відносний паритет між масою скелетних гілок та асиміляційним апаратом.

Досліджуваний ялицевий деревостан має надзвичайно високий екологічний потенціал за рахунок депонування значних обсягів вуглецю. Проектування рубок переформування за комбінованим або групово-вибірковою способом дасть можливість зберегти стабільність цього екологічного чинника, вилучаючи лише незначну частку фітомаси, та водночас створюватиме умови для підвищення асиміляційної здатності майбутнього різновікового ялицевого деревостану.

Дискусія (Discussion).

Перехід до наближеного до природи

лісівництва передбачає відмову від суцільнолісососічних систем на користь вибіркового рубок з метою формування різновікових, багатоярусних та біотично стійких деревостанів. Важливим інструментом для моделювання таких лісогосподарських заходів та оцінювання їхніх наслідків є мартелоскопі (Лавний та ін., 2025б). Моделювання динаміки розвитку біогруп у ялицевих деревостанах Карпатського регіону повинно враховувати специфіку міжвидової конкуренції та відмінності в екологічних реакціях дерев на глобальні кліматичні зміни (Bošela et al., 2018). На основі аналізу структурно-просторових моделей експериментального полігону у ялицевому деревостані обґрунтовано три потенційні сценарії лісівничого втручання. Згідно з таксаційними даними розподілу дерев за ступенями товщини та об'ємом, досліджуваний лісостан представлений практично чистим деревостаном ялиці білої, частка якої за запасом становить 99,2%. Ялина європейська виступає як поодинокі домішка і становить 0,7% від загального запасу. Загальна структура деревостану на початковому етапі переформування характеризується високою повнотою та горизонтальною зімкнутістю, що обмежує світловий режим під наметом лісу і стримує процеси природного поновлення.

У процесі переформування хвойних насаджень Карпатського регіону необхідно

враховувати довгострокові екологічні прогнози щодо стійкості панівних деревних видів до посилення аридності клімату (Vitasse et al., 2019). Проектування лісгосподарських заходів та оцінювання ходу росту ялиці білої у вологій буковій яличині повинні базуватися на комплексному врахуванні орографічних, едафічних та кліматичних чинників конкретного регіону (Dinca et al., 2022). Потрібно поєднувати лісівничі заходи з регулюванням освітленості та захистом підросту від пошкодження дикими тваринами (Vacek et al., 2015).

Перший лісівничий сценарій орієнтований на біогрупове регулювання структури цього ялицевого деревостану (рис. 5). Кількісні параметри втручання характеризуються мінімальним рівнем антропогенного навантаження: об'єм виленої деревини становить $77,7 \text{ м}^3$, а інтенсивність рубки за запасом – 9,9%. Технологічна концепція сценарію базується на створенні чітко локалізованих відновлювальних «вікон» (біогруп) площею 220-250 м^2 . Такий розмір галявин є біологічно обґрунтованим для ялиці білої як тіньовитривалого деревного виду.

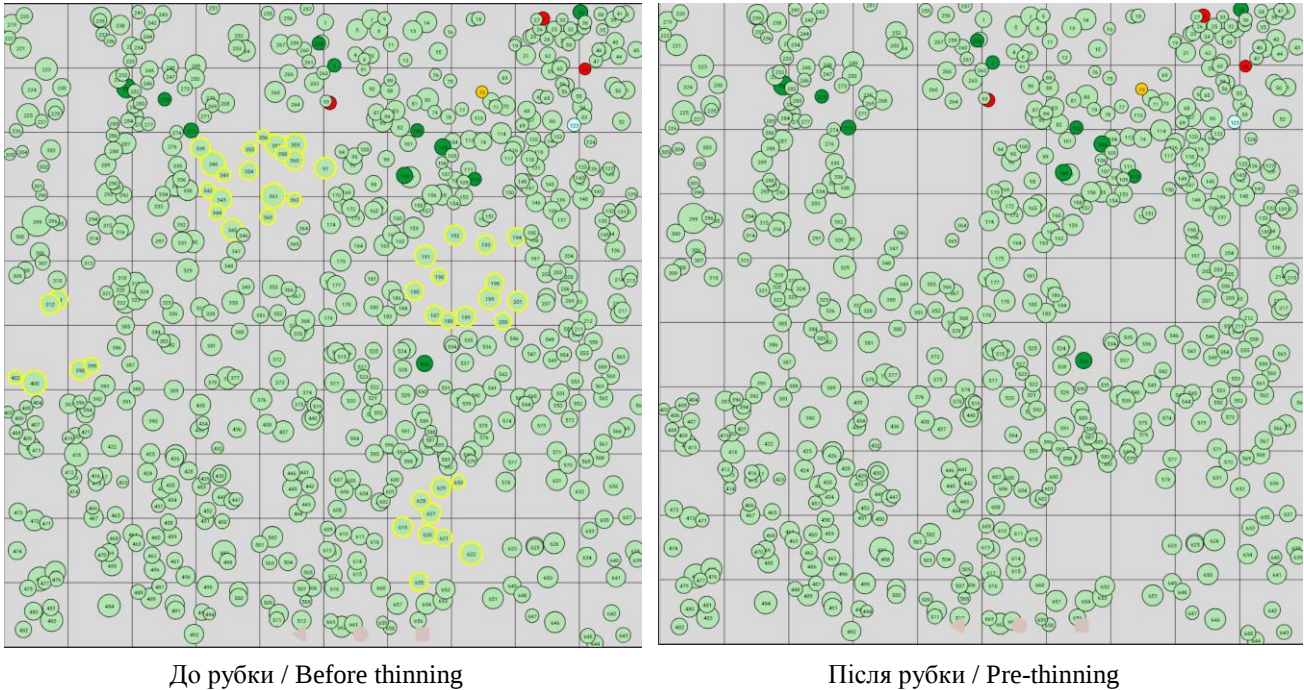


Рис. 5. Переформування групово-вибірковим способом рубки (площа відновлювальних «вікон» 220-250 м^2). Об'єм вибраної деревини – $77,7 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$, інтенсивність рубки – 9,9%

Fig. 5. Transformation by group-selective felling method (area of regeneration “gaps” 220-250 m^2). The volume of selected wood is $77.7 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$, felling intensity is 9.9%

Умовні позначення:
Legend:

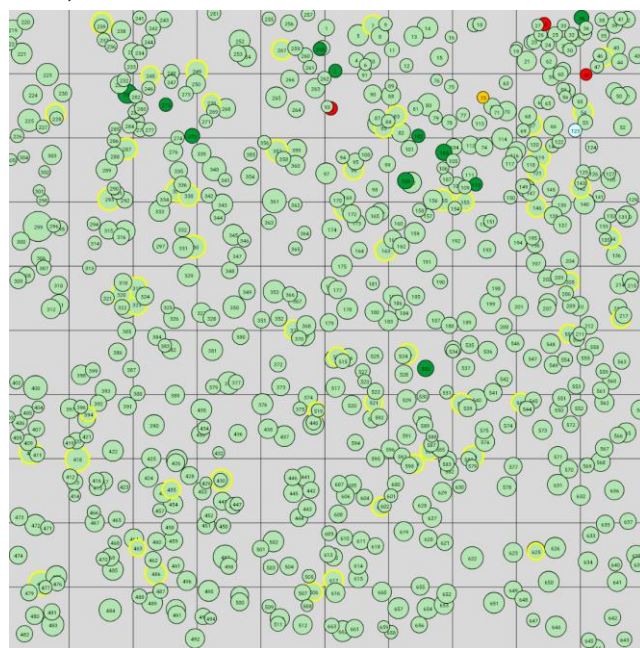
- | | |
|--|--|
| ● <i>Abies alba</i> Mill. | ● <i>Salix caprea</i> L. |
| ● <i>Picea abies</i> [L.] Karst. | ● <i>Carpinus betulus</i> L. |
| ● ДЕРЕВА, ЯКІ ПІДЛЯГАЮТЬ ЗРУБУВАННЮ / Trees to be felled | ● <i>Betula pendula</i> Roth. |

Сформовані «вікна» забезпечать оптимальне поєднання доступу фотосинтетично активної радіації та збереження захисного лісового мікроклімату, що мінімізує пересихання верхніх шарів ґрунту. З огляду на видовий склад наявного деревостану, рубка проводиться виключно за рахунок вилення компактних груп ялиці із залишенням поодиноких екземплярів ялини європейської та цінних біотопних дерев з мікрооселищами.

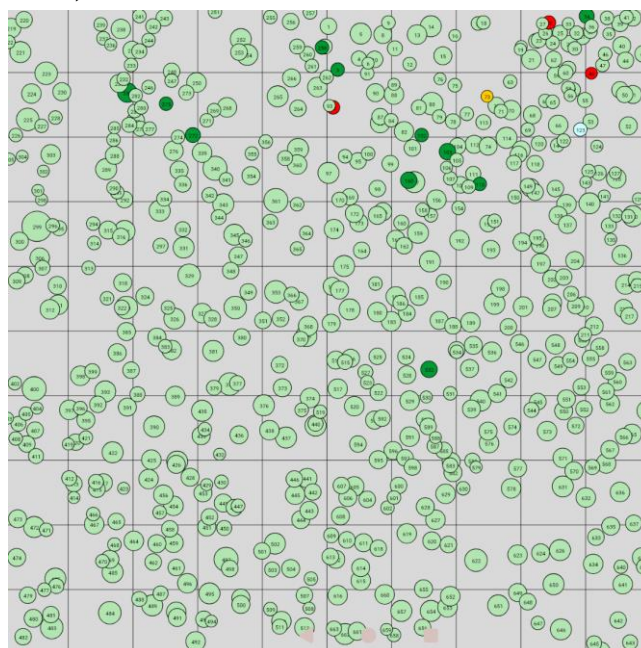
Оцінювання динаміки вертикального росту самосіву ялиці в межах сформованих відновлювальних «вікон» повинно враховувати мікρο-структурні особливості освітленості та локальні ризики пошкодження верхівкових пагонів копит-

ними тваринами (Kupferschmid et al., 2013). При цьому виникнення природних порушень у гірських лісостанах докорінно трансформує просторову поведінку мисливської фауни та інтенсивність її пасовищного тиску на молодий підріст (Szwagrzyk et al., 2020). Потрібно також враховувати, що успішність природного поновлення та динаміка нагромадження біомаси молодим поколінням ялиці білої значною мірою лімітуються конкурентним тиском з боку трав'яного покриття (Prokupková et al., 2021). Переформування групово-вибірковим способом забезпечує найвищий рівень екологічної безпеки та практично нівелює ризики виникнення вітровалів (Калінін та ін., 1997). Трансформація

одновікового насадження за такого підходу відбувається найменш інтенсивно. Збільшення розмірів «вікон» (інтенсифікація розрідження) дещо прискорює ріст ялиці білої, але водночас провокує вибуховий розвиток злакової рослинності та ожини, які починають створювати жорстку конкуренцію для підросту (Ficko et al., 2016).



До рубки / Before thinning



Після рубки / Pre-thinning

Рис. 6. Переформування вибіркоким способом рубки.
Об'єм вибраної деревини – 119,0 м³·га⁻¹, інтенсивність рубки – 15,1%
Fig. 6. Transformation by selective felling.
The volume of selected wood is 119.0 м³·га⁻¹, the felling intensity is 15.1%

Умовні позначення:
 Legend:

- | | |
|---|--|
| ● <i>Abies alba</i> Mill. | ● <i>Salix caprea</i> L. |
| ● <i>Picea abies</i> [L.] Karst. | ● <i>Carpinus betulus</i> L. |
| ● ДЕРЕВА, ЯКІ ПІДЛЯГАЮТЬ ЗРУБУВАННЮ /
Trees to be felled | ● <i>Betula pendula</i> Roth. |

Загальний обсяг дерев, що підлягають зрубіванню, запроєктовано на рівні 119,0 м³, що відповідає помірній інтенсивності рубки за запасом – 15,1%. Головна лісівнича мета цього варіанту полягає у розріджуванні надто щільних біогруп для інтенсифікації розвитку крон та посилення радіального приросту перспективних дерев. Вибірку дерев для зрубівання здійснюють поштучно, переважно з нижніх та середніх ярусів (ступені товщини 16-24 см), за рахунок пригнічених або незадовільних за фітосанітарним станом екземплярів ялиці. Супутні деревні види повністю вилучають з розрахунку рубки з метою збереження мішаного складу деревостану. Рівномірний характер зріджування крон підтримує високу загальну стійкість деревостану, проте відсутність чітко сформованих «вікон» поновлення знижує ефективність цього сценарію щодо масової появи нового покоління лісу під наметом материнського деревостану.

Третій варіант є найбільш комплексним лісівничим рішенням, оскільки поєднує в собі елементи рівномірного вибіркового зріджування та локального утворення галявин (рис. 7). Оптимізація кронного простору в ялицевому деревостані призводить до суттєвого підвищення ефективності надходження сонячної радіації (Forrester & Albrecht, 2014).

За об'ємом вилучених дерев останній варіант є найінтенсивнішим – проєктоване видалення 151,2 м³ деревини забезпечує інтенсивність рубки на рівні 19,2%. Просторова реалізація сценарію передбачає одночасне закладання відновлювальних «вікон» площею 220-250 м² та проведення лісівничого догляду у прилеглих зонах (кулісах) шляхом розріджування крон до оптимальних лісівничих показників. Зрубіванню підлягають не лише пригнічені дерева, але й окремі екземпляри ялиці великих ступенів товщини (44-60 см) для

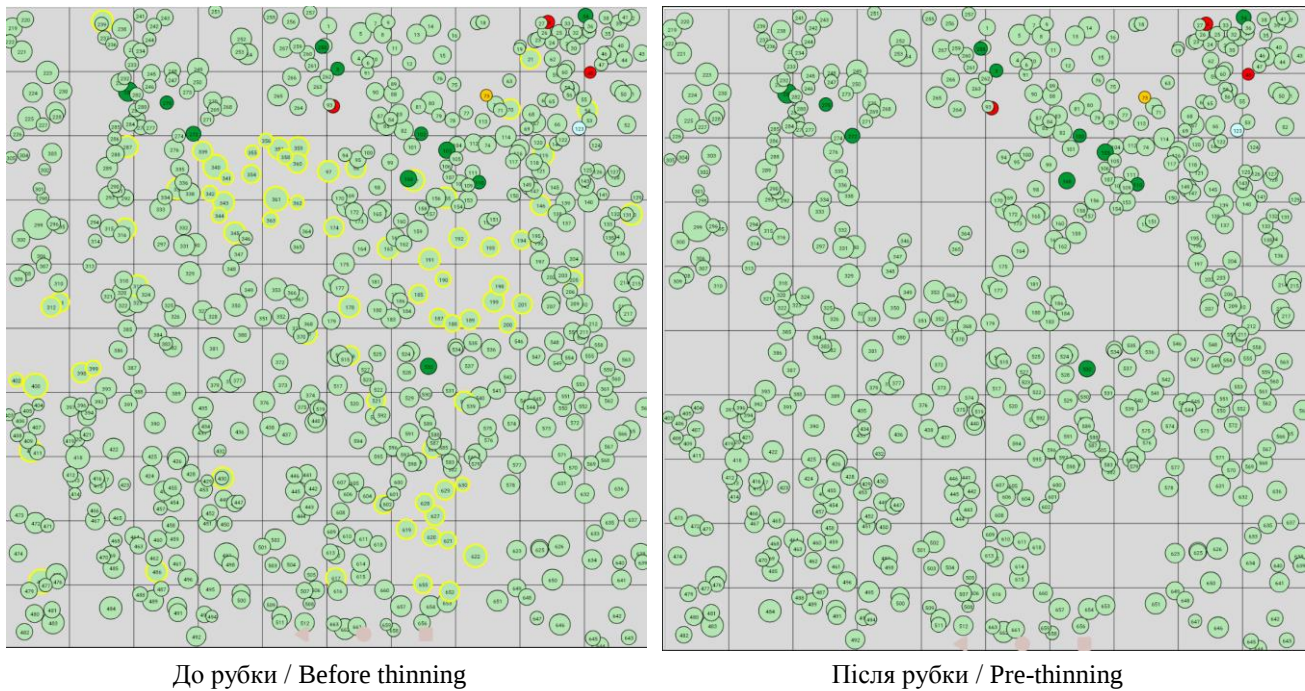


Рис. 7. Переформування комбінованим (вибірковим і групово-вибірковим) способом рубки (площа відновлювальних «вікон» 220-250 м²). Об'єм вибраної деревини – 151,2 м³·га⁻¹, інтенсивність рубки – 19,2%

Fig. 7. Transformation by combined (selective and group-selective) felling method (area of regeneration “gaps” 220-250 м²). The volume of selected wood is 151.2 м³·ha⁻¹, felling intensity is 19.2%

Умовні позначення:
 Legend:

● <i>Abies alba</i>	● Верба козяча
● Ялина європейська	● Граб звичайний
● Дерев, які підлягають вирубуванню	● Береза повисла

покращення світлового режиму. Незважаючи на високу інтенсивність, екологічний каркас ділянки залишається непорушним: цінні осередки біотопних дерев та поодинокі екземпляри ялини повністю зберігаються. Цей спосіб є найефективнішим з погляду найшвидшої трансформації одновікового лісостану у різновіковий, оскільки комбінований вплив одночасно стимулює появу самосіву у «вікнах» і прискорює ріст дерев верхнього ярусу за товщиною стовбура.

Забезпечення високої продуктивності та стабільності лісових масивів у Карпатському регіоні тісно пов'язане з вирощуванням мішаних різновікових лісів за участю бука, ялини та ялиці (Hilmers et al., 2019). Сучасні кліматичні зміни зумовлюють стрімку втрату біологічної стійкості штучними хвойними монокультурами, що вимагає негайного коригування лісгосподарських підходів (Іванюк та ін., 2024). Оцінювання екологічної стійкості та просторової структури пристиглих ялицевих деревостанів повинно враховувати не лише внутрішньоценотичні фактори, але й регіональні геліо- та макрокліматичні особливості (Šimůnek et al., 2023). Порівняльний аналіз трьох сценаріїв свідчить

про те, що всі запропоновані варіанти переформування одновікового ялицевого деревостану знаходяться у межах біологічної обґрунтованості та не перевищують граничну нормативну інтенсивність першого прийому рубок переформування (до 25% за запасом). З екологічного та лісівничого погляду найбільш перспективним для практичного впровадження в ялицевих лісах Українських Карпат є третій сценарій. Завдяки комбінації вибіркового та групово-вибіркового способів, він забезпечує оптимальний баланс між швидкістю переформування вертикальної структури ялицевого деревостану, стимуляцією природного поновлення та збереженням унікального біорізноманіття мікрооселищ і супутніх порід.

Висновки (Conclusions).

1. Досліджуваний лісовий масив в умовах вологості букової яличини представлений високопродуктивним одновіковим і практично чистим деревостаном. Ялиця біла виявляє абсолютне домінування за всіма таксаційними показниками, формуючи основний намет лісу. Супутні хвойні та листяні деревні види представлені поодинокі, займаючи переважно підлегло фітоценотичне положення, що свідчить

про їхнє значне пригнічення в умовах високої міжвидової конкуренції.

2. Математично-статистичне оцінювання біометричних параметрів стовбурів показала екстремально високий рівень природної мінливості лісостану. Наявність вираженої правосторонньої асиметрії за діаметром підтверджує чисельне переважання дерев дрібних та середніх розмірів, тоді як основна частка запасу деревостану сформована деревами верхнього ярусу. Такий стан є характерною ознакою природного походження деревостану, що перебуває на стадії активного старіння та формування біогруп.

3. На мартелоскопі виділено 136 дерев з мікрооселищами (21% від загальної кількості), на яких встановлено 12 різновидів оселищ. Найбільшу кількість дерев зафіксовано з ранами та наростами на стовбурі й скелетних гілках, що спричинені раком ялиці (GR3). Також виявлено багато дерев з втратою кори (IN1) та зі зламаними стовбурами чи пошкодженими кронами (IN2).

4. Сумарний запас органічного вуглецю, депонованого у фітомасі досліджуваного лісостану, становить $197,1 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$. Основним депонентом вуглецю є ялиця біла (99,1% від загальної маси). У просторовій структурі фітомаси найбільша кількість органічного вуглецю зосереджена у стовбуровій деревині – 135,4 т (68,7% від загальної кількості). На підземну фітомасу припадає 18,1% депонованого вуглецю, а компоненти крони акумулюють сумарно 13,2% вуглецю.

5. Виявлена структурна неоднорідність ялицевого деревостану та різноманіття мікрооселищ створюють оптимальні передумови для впровадження наближеного до природи лісівництва. Серед змодельованих варіантів рубки переформування найбільш перспективним є комбінований спосіб. Він інтегрує одночасне створення відновлювальних «вікон» для появи самосіву і підросту тіншовитривалої ялиці білої та рівномірне розріджування прилеглих смуг деревостану. Такий підхід забезпечує м'яку, але ефективну трансформацію однієї та одноярусної структури ялицевого деревостану в стійку різновікову та багаторярусну лісову екосистему.

Подяка (Acknowledgments).

Автори висловлюють подяку Федеральному міністерству продовольства та сільського господарства Німеччини (BMELH) за фінансову підтримку досліджень через Федеральне агентство сільського господарства та продовольства на основі рішення Парламенту Федеративної Республіки Німеччина.

The project is supported by funds of the Federal Ministry of Agriculture, Food and Regional Identity of Germany (BMELH) based on a decision of the Parliament of the Federal Republic of Germany via the Federal Office for Agriculture and Food (BLE).

Конфлікт інтересів (Conflicts of Interest).

Автори заявляють про відсутність у них відомих конкуруючих фінансових інтересів чи особистих зв'язків, які могли б вплинути на результати, представлені у цій статті.

Список літератури (References)

- Bledý, M., Vacek, S., Brabec, P., Vacek, Z., Cukor, Černý, J., Ševčík, R., & Brynychová, K. (2024). Silver Fir (*Abies alba* Mill.): Review of Ecological Insights. *Forest Management Strategies, and Climate Change Impact on European Forests*, 15(6), 998. <https://doi.org/10.3390/f15060998>
- Bošela, M., Lukac, M., Castagneri, D., Sedmák, R., Biber, P., Carrer, M., ... Buntgen, U. (2018). Contrasting effects of environmental change on the radial growth of co-occurring beech and fir trees across Europe. *Science of The Total Environment*, 615, 1460–1469. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.092>
- Caudullo, G., Welk, E., & San-Miguel-Ayanz, J. (2017). Chorological maps for the main European woody species. *Data in Brief*, 12, 662–666. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2017.05.007>
- Debryniuk, V., Lavnyy, V., Ivaniuk, A., Orikhovskyy, R., & Spathelf, P. (2025). Monitoring of Forest Sites by Establishing Martelosopes. In *International Conference of Young Professionals «GeoTerrace-2025»*. Vol. 2025, No. 1, pp. 1–5. European Association of Geoscientists & Engineers. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.202552068>
- Dinca, L., Marin, M., Vlad, R., Murariu, G., Drasovean, R., Cretu, R., Georgescu, L., & Voichița, T.-G. (2022). Which are the best site and stand conditions for silver fir (*Abies alba* Mill.) located in the Carpathian Mountains? *Diversity*, 14(7), 547. <https://doi.org/10.3390/d14070547>
- Dobrowolska, D., Bončina, A., & Klumpp, R. (2017). Ecology and silviculture of silver fir (*Abies alba* Mill.): A review. *Journal of Forest Research*, 22(6), 326–335. <https://doi.org/10.1080/13416979.2017.1386021>
- European Commission. (2021). New EU forest strategy for 2030 (COM(2021)572final). European Parliament. <https://eur-lex.europa.eu/legal->

- content/EN/TXT/?uri=CELEX:52021DC0572
- Ficko, A., Roessiger, J., & Boncina, A. (2016). Can the use of continuous cover forestry alone maintain silver fir (*Abies alba* Mill.) in central European mountain forests? *Forestry*, 89(4), 412–421.
<https://doi.org/10.1093/forestry/cpw011>
- Forrester, D. I., & Albrecht, A. T. (2014). Light absorption and light-use efficiency in mixtures of *Abies alba* and *Picea abies* along a productivity gradient. *Forest Ecology and Management*, 328, 94–102.
<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.05.026>
- Gazol, A., Camarero, J. J., Gutiérrez, E., Popa, I., Andreu-Hayles, L., Motta, R., ... Carrer, M. (2015). Distinct effects of climate warming on populations of silver fir (*Abies alba*) across Europe. *Journal of Biogeography*, 42, 1150–1162. <https://doi.org/10.1111/jbi.12512>
- Gensiruk, S. A. (2002). *Forests of Ukraine*. Lviv: Scientific society Shevchenko. [Генсірук, С. А. (2002). *Ліси України*. Львів: Наук. тов. ім. Шевченка. 324 с.] (in Ukrainian)
- Gerushinsky, Z. Yu. (1996). *Typology of the forests of the Ukrainian Carpathians*. Lviv: Pyramid. [Герушинський, З. Ю. (1996). *Типологія лісів Українських Карпат*. Львів: Піраміда. 208 с.] (in Ukrainian)
- Hilmers, T., Avdagić, A., Bartkiewicz, L., Bielak, K., Binder, F., Boncina, A., ... Pretzsch, H. (2019). The productivity of mixed mountain forests comprised of *Fagus sylvatica*, *Picea abies*, and *Abies alba* across Europe. *Forestry*, 92(5), 512–522. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpz035>
- Hofmeister, Š., Svoboda, M., Souček, J., & Vacek, S. (2008). Spatial pattern of Norway spruce and silver fir natural regeneration in uneven-aged mixed forests of northeastern Bohemia. *Journal of Forest Science*, 54(3), 92–101. <https://doi.org/10.17221/4/2008-JFS>
- Holubets, M. (2003). Geobotanical division of the Ukrainian Carpathians – a basis of rational natural use. *Ecological collection: Ecological problems of the Carpathian region, the T. Shevchenko Scientific Society, XII*, 283–292. <https://nasplib.isoftware.kiev.ua/handle/123456789/38711> [Голубець, М. А. (2003). Геоботанічне районування Українських Карпат – основа раціонального природокористування. *Екологічний збірник: Екологічні проблеми Карпатського регіону, Праці НТШ*. Т. XII, 283–292] (in Ukrainian)
- Hrynyk, G. G. (2011). Forestry and taxonomic characteristics of fir stands of the Ukrainian Carpathians taking into account the features of the relief. *Scientific Bulletin of the National Forestry University of Ukraine*, 21(13), 17–28. https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2011/21_13/17_Hrynyk.pdf. [Гриник, Г. Г. (2011). Лісівничо-таксаційна характеристика ялицевих деревостанів Українських Карпат з урахуванням особливостей рельєфу. *Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України*, 21(13), 17–28] (in Ukrainian)
- Ivanyuk, A. P., Holubchak, O. I., & Hnatyuk, O. R. (2024). The influence of economic measures on the condition of spruce protective forests of the Ukrainian Carpathians. *Scientific Bulletin of the National Forestry University of Ukraine*, 34(6), 41–48. <https://doi.org/10.36930/40340606>
- [Іванюк, А. П., Голубчак, О. І., Гнатюк, О. Р. (2024). Вплив господарських заходів на стан ялинових захисних лісів Українських Карпат. *Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України*, 34(6), 41–48] (in Ukrainian)
- Jagodziński, A. M., Dyderski, M. K., Gęsikiewicz, K., & Horodecki, P. (2019). Tree and stand level estimations of *Abies alba* Mill. aboveground biomass. *Annals of Forest Science*, 76(56), 1–14. <https://doi.org/10.1007/s13595-019-0842-y>
- Kalinin, M. I., Kalutsky, I. F., & Ivanyuk, A. P. (1997). *Winds in the mountain and foothill regions of the Ukrainian Carpathians*. Lviv: Manuscript. [Калінін, М. І., Калущкий, І. Ф., Іванюк, А. П. (1997). *Вітровали в гірських та передгірських регіонах Українських Карпат*. Львів: Манускрипт. 286 с.] (in Ukrainian)
- Kraus, D., Büttler, R., Krumm, F., Lachat, T., Larrieu, L., Mergner, U., ... Winter, S. (2016). *Catalogue of tree microhabitats*. Reference field list. Integrate+ Technical Paper No. 13, 16 p. http://iplus.efi.int/uploads/Tree%20Microhabitat%20Catalogues/Catalogue_TreeMicrohabitats_UA.pdf
- Kraus, D., Schuck, A., Krumm, F., Büttler, R., Cosyns, H., Courbaud, B., ... Zudin, S. (2018). Seeing is building better understanding – the Integrate+ Marteloscopes. Report number: 26:3, Affiliation: Integrate+. https://www.researchgate.net/publication/323018962_Seeing_is_building_better_understanding_-_the_Integrate_Marteloscopes
- Krynytsky, H. T., & Lavnyy, V. V. (2024). Introducing nature-based forestry in Ukraine. In *Forestry Education and Science: Current Challenges and Development Prospects*, 124–128. Lviv, October 23–25. Lviv: National Forestry University of Ukraine. <https://doi.org/10.36930/conf150.1.30>. [Криницький, Г. Т., Лавний, В. В. (2024). Запровадження наближеного до природи лісівництва в Україні. *Лісотехнічна наука і*

- освіта: виклики сьогодення та перспективи розвитку. Міжнарод. наук.-практ. конф. з нагоди 150-річчя НЛТУ України, Львів, 23-25 жовтня 2024 р. Львів: НЛТУ України, 124–128] (in Ukrainian)
- Kupferschmid, A., Zimmermann, S., & Bugmann, H. (2013). Browsing regime and growth response of naturally regenerated *Abies alba* saplings along light gradients. *Forest Ecology and Management*, 310, 393–404. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.08.048>
- Lavnyy, V., Holubchak, O., Hnatiuk, O., Ivaniuk, A., Mykhayliv, O., Nagorniak, B., & Spathelf, P. (2025). The effects of silvicultural treatments on natural regeneration in forests of the Ukrainian Carpathians. *Bulletin of Sumy National Agrarian University. The Series: Agronomy and Biology*, 61(3), 24–36. <https://doi.org/10.32782/agrobio.2025.3.3>
- Lavnyy, V., Ivaniuk, A., Mykhayliv, O., Yuskevych, T. & Spathelf, P. (2025a) Conservation of forest biodiversity through establishment of martelosopes. In *Practical aspects of the activities of protected areas and objects in the context of sustainable development: Materials of the international scientific and practical conference National Natural Park "Vyzhnytskyi": proceedings of International Scientific and practical Conference*, 102–104. Vyzhnytsya: Cheremosh, https://vyzhnytskyi-park.in.ua/wp-content/uploads/2025/10/NPPV_zbirnyk-konferentsii-ostatochnyy.pdf. [Лавний, В. В., Іванюк, А. П., Михайлів, О. Б., Юськевич, Т. В., Шпатгельф, П. (2025а). Збереження біорізноманіття лісів завдяки мартелоскопам. *Практичні аспекти діяльності природно-заповідних територій і об'єктів у контексті збалансованого розвитку*: матеріали Міжнарод. наук.-практ. конф. НПП «Вижницький». Вижниця: Черемош, 102–104] (in Ukrainian)
- Lavnyy, V., Ivaniuk, A., Mykhayliv, O., Yuskevych, T. & Spathelf, P. (2025b). Martelosopes – a key tool for teaching, understanding and sharing knowledge about close-to-nature silviculture. In *The main tasks of forestry science in forest management based on close-to-nature forestry principles in the mountain forests of the Ukrainian Carpathians: proceedings of International Scientific and practical Conference*, 46–49. Ivano-Frankivsk, NAIR. https://www.researchgate.net/publication/399002454_MARTELOSKOPI_-_KLUCOVII_INSTRUMENT_DLA_NAVCANNA_ROZUMINNA_TA_OBMINU_ZNANNA_MI_PRO_NABLIZENE_DO_PRIRODI_LISIV_NICTVO_MARTELOSCOPES [Лавний, В. В., Іванюк, А. П., Михайлів, О. Б., Юськевич, Т. В., Шпатгельф, П. (2025b). Мартелоскопи – ключовий інструмент для навчання, розуміння та обміну знаннями про наближене до природи лісівництво. *Основні завдання лісівничої науки щодо ведення лісового господарства на засадах наближеного до природи лісівництва в гірських лісах Українських Карпат*: матеріали Міжнарод. наук.-практ. конф., Івано-Франківськ: НАІР, 46–49] (in Ukrainian)
- Mauri, A., de Rigo, D., & Caudullo, G. (2016). *Abies alba* in Europe: Distribution, habitat, usage and threats. In J. San-Miguel-Ayanz, D. de Rigo, G. Caudullo, T. Houston Durrant, & A. Mauri (Eds.), *European atlas of forest tree species* (pp. e01493b+). Publication Office of the European Union. <https://w3id.org/mtv/FISE-Comm/v01/e01493b>
- Mihai, G., Alexandru, A. M., Stoica, E., & Birsan, M. V. (2021). Intraspecific growth response to drought of *Abies alba* in the Southeastern Carpathians. *Forests*, 12(4), 387. <https://doi.org/10.3390/f12040387>
- Paluch, J. (2005). The influence of the spatial pattern of trees on forest floor vegetation and silver fir (*Abies alba* Mill.) regeneration in uneven-aged forests. *Forest Ecology and Management*, 205(1-3), 283–298. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2004.10.010>
- Penne, C., Ahrends, B., Deurer, M., & Böttcher, J. (2010). The impact of the canopy structure on the spatial variability in forest floor carbon stocks. *Geoderma*, 158(3-4), 282–297. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2010.05.007>
- Pinto, P. E., Gégout, J.-C., Hervé, J.-C., & Dhôte, J.-F. (2008). Respective importance of ecological conditions and stand composition on *Abies alba* Mill. dominant height growth. *Forest Ecology and Management*, 255(3-4), 619–629. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.09.031>
- Prokupková, A., Brichta, J., Vacek, Z., Bielak, K., Andrzejczyk, T., Vacek, S., ... Fuchs, Z. (2021). Effect of vegetation on natural regeneration of mixed silver fir forests in lowlands: a case study from the Rogów region in Poland. *Sylvan*, 165(11), 779–795. <https://doi.org/10.26202/sylvan.2021092>
- Šimůnek, V., Prokupková, A., Vacek, Z., Vacek, S., Cukor, J., Remeš, J., ... Ripullone, F. (2023). Silver fir tree-ring fluctuations decrease from north to south latitude–total solar irradiance and NAO are indicated as the main influencing factors. *Forest Ecosystems*, 10, 100150. <https://doi.org/10.1016/j.fecs.2023.100150>
- State Forest Resources Agency of Ukraine (2025). Ukraine has approved a strategy for transitioning

- to close-to-nature forestry. <https://forest.gov.ua/news/v-ukraini-zatverdyl-stratehiu-z-perekhodu-do-nablyzhenoho-do-prirody-lisivnytstva> [Державне агентство лісових ресурсів України. (2025). В Україні затвердили стратегію з переходу до наближеного до природи лісівництва] (in Ukrainian)
- State Forest Resources Agency of Ukraine (n.d.). Improving the quality of forests. <https://forest.gov.ua/napryamki-diyalnosti/lisove-gospodarstvo/polipshennya-yakisnogo-skladu-lisiv> [Державне агентство лісових ресурсів України. (б.р.). Поліпшення якісного складу лісів] (in Ukrainian).
- Szwagrzyk, J., Gazda, A., Muter, E., Pielech, R., Szweczyk, J., Zięba, A., ... Bodziarczyk, J. (2020). Effects of species and environmental factors on browsing frequency of young trees in mountain forests affected by natural disturbances. *Forest Ecology and Management*, 474, 118364. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118364>
- Takhtajan, A. L. (2009). *Flowering Plants*. 2nd ed. New York: Springer. URL: <https://docs.google.com/file/d/0B3A8pmAgeNOoOFZjOTBnSXNiMTA/edit?resourcekey=0-2RAFxHqUffgJhUDbFywsPw>
- Terelya, I. P. (2004). *White fir (Abies alba Mill.) in the forests of the Ukrainian Carpathians: condition, reproduction and economic use*: Abstract doctoral dissertation, Scientific bulletin of the Ukrainian State Forestry University, Lviv, Ukraine. [Тереля, І. П. (2004). *Ялиця біла (Abies alba Mill.) у лісах Українських Карпат: стан, відтворення та господарське використання*: автореф. дис. ... канд. с.-г. наук: 06.03.03. Львів: УкрДЛТУ] (in Ukrainian)
- Tkach, V. P., Romanovskyi, V. F., Krynytskyi, H. T., Shinkarenko, I. B., Parpan, V. I., Kobets, O. V., ... Zhezhkun, A. M. (2023). *Features of forest formation and forest rehabilitation felling (methodical recommendations)*, Kharkiv: UkrNDILGA. <https://uriffm.org.ua/static/main/files/osobl.pdf>. [Ткач, В. П., Романовський, В. Ф., Криницький, Г. Т., Шинкаренко, І. Б., Парпан, В. І., Кобець, О. В., ... Жежкун, А. М. (2023). *Особливості проведення рубок формування і оздоровлення лісів (методичні рекомендації)*, Харків: УкрНДІЛГА] (in Ukrainian)
- Tudoran, G.-M., Avram, C., Ciceu, A., & Dobre, A.-C. (2021). Growth relationships in silver fir stands at their lower-altitude limit in Romania. *Forests*, 12(4), 439. <https://doi.org/10.3390/f12040439>
- Vacek, S., Vacek, Z., Bulušek, D., Bílek, L., Schwarz, O., Simon, J., & Štícha, V. (2015). The role of shelterwood cutting and protection against game browsing for the regeneration of silver fir. *Austrian Journal of Forest Science*, 132(2), 81–102. https://www.researchgate.net/publication/282255626_The_role_of_shelterwood_cutting_and_protection_against_game_browsing_for_the_regeneration_of_silver_fir
- Vitasse, Y., Bottero, A., Rebetez, M., Conedera, M., Augustin, S., Brang, P., & Tinner, W. (2019). What is the potential of silver fir to thrive under warmer and drier climate? *European Journal of Forest Research*, 138(4), 547–560. <https://doi.org/10.1007/s10342-019-01192-4>

Integrated methods of close-to-nature silviculture in silver fir forests of the Ukrainian Carpathians

V. Lavnyy¹, A. Ivaniuk², O. Mykhayliv³, T. Yuskevych⁴, B. Nagorniak⁵, P. Spathelf⁶

The stand structure, measurement indicators and biotope potential of an 85-year-old stand with dominant silver fir in beech-fir forests on rich soils of the Rozluch forest district of the Sambir forestry enterprise of the State Service "Forests of Ukraine" were studied. The experimental trial area (marteloscope) was laid out in the form of a square with an area of 1 ha (100 × 100 m) and a division into four sections of 50 × 50 m.

The plot contains 663 trees, of which 97.6% are silver fir trees, 1.6% are Norway spruce and 0.8% are other species. The stand is characterized by high productivity (growing stock – 788 m³·ha⁻¹, I site class, average diameter – 34.5 cm, average height – 27.4 m). The diameter distribution is characterized by a moderate right-sided asymmetry ($A = 0.261$) and negative kurtosis ($E = -0.275$), which indicates a more scattered diameter distribution with a numerical predominance of small trees. For heights, a pronounced left-sided asymmetry ($A = -0.743$) and negative kurtosis ($E = -0.561$) were recorded, which indicates that the majority of trees are concentrated in classes with relatively large heights, and a small number of trees have heights significantly lower than the average. The identification and classification of microhabitats was carried out according to the international catalogue of the European Forest Institute. A total of 136 trees with microhabitats were identified (21% of the total number), on which 12 habitat types on average were established. The largest number of trees were noted with wounds and growths on the trunk and skeletal branches caused by fir cancer (GR3). There are also many trees with bark loss (IN1) and broken trunks or crowns (IN2).

The total stock of organic carbon deposited in the phytomass of the studied forest stand is 197.1 t·ha⁻¹. The

main carbon storage is silver fir, accumulating 99.1% of the total phytomass. In the spatial structure of the phytomass, the largest amount of organic carbon is concentrated in the stem wood – 135.4 t (68.7% of the total amount). The underground phytomass (roots) accounts for 18.1% of the deposited carbon, and the crown components accumulate a total of 13.2% of carbon.

The silvicultural and ecological efficiency of three methods of conducting transformation felling (group-selective, selective and combined) was modelled and compared, taking into account the requirements for preserving biodiversity. With the group-selective method, the volume of harvested wood will be 77.7 m³·ha⁻¹, and the intensity of felling will be 9.9%. With the selective method, the volume of felled trees is projected at 119.0 m³·ha⁻¹, which corresponds to a moderate intensity of felling – 15.1%. The most intensive is the combined method – it is planned to cut down 151.2 m³·ha⁻¹ of wood, and the intensity of felling – 19.2%.

Among the simulated options for transformation felling, the combined method is the most promising. It integrates the simultaneous creation of regeneration “windows” for the appearance of self-seeding and undergrowth of shade-tolerant silver fir and selective felling of adjacent strips of the stand. This approach ensures a soft but effective transformation of the even-aged and single-tier structure of the silver fir stand into a sustainable multi-aged and multi-tier forest ecosystem.

Key words: marteloscope; biodiversity; silver fir; silvicultural and stand measurement indicators microhabitats, forest ecology.

¹ *Vasyl Lavnyy* – Full Member of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, Vice-president of the FAS of Ukraine, Doctor of Agricultural Sciences, Vice Rector for Research. Ukrainian National Forestry University, 103 General Chuprynka St., Lviv, 79057, Ukraine. E-mail: lavnyy@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2069-9026>

² *Andrii Ivaniuk* – PhD in Agricultural Sciences, Associate Professor, Department of Forest Planting and Breeding. Ukrainian National Forestry University, 103 General Chuprynka St., Lviv, 79057, Ukraine. E-mail: a.ivanuk@nltu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1489-4733>

³ *Oksana Mykhayliv* – PhD in Agricultural Sciences, Associate Professor, Department of Silviculture. Ukrainian National Forestry University, 103 General Chuprynka St., Lviv, 79057, Ukraine. E-mail: o.mykhayliv@nltu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6794-9670>

⁴ *Taras Yuskevych* – PhD in Agricultural Sciences, Associate Professor, Department of Botany, Wood Science and Non-Wood Forest Products. Ukrainian National Forestry University, 103 General Chuprynka St., Lviv, 79057, Ukraine. E-mail: t.yuskevich@nltu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2735-0492>

⁵ *Nagorniak Bogdan* – Assistant Department of Forest Inventory and Forest Management. Ukrainian National Forestry University, 103 General Chuprynka St., Lviv, 79057, Ukraine. E-mail: b.nahornjak@nltu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-1184-6375>

⁶ *Peter Spathelf* – Professor for Applied Silviculture at Eberswalde University for Sustainable Development. Schicklerstrasse 5, D-16225 Eberswalde, Germany. E-mail: Peter.Spathelf@hnee.de ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0668-2319>