



Наукові праці Лісівничої академії наук України
Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine

<http://fasu.nltu.edu.ua>
<https://doi.org/10.36930/412615>
Article received 2025.11.03
Article revised 2026.03.10
Article accepted 2026.03.19
Article published 2026.05.22

ISSN 1991-606X print
ISSN 2616-5015 online
@ ✉ Correspondence author
Oksana Pelyukh
pelyukh.o@nltu.edu.ua
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*6:502.131.1:330.15

**Інтегрований підхід до циркулярної трансформації підприємств
деревообробної галузі лісового сектора економіки**

О.Р. Пелюх¹, О.А. Кійко², І.П. Соловій³, М.М. Ільків⁴, В.В. Лавний⁵, Д.Б.Савка⁶,
А.О. Луценко⁷, Н.Ф. Чопенко⁸, О.В. Яріш⁹

Циркулярна трансформація підприємств деревообробної галузі слугує стратегічним пріоритетом для забезпечення сталого розвитку лісового сектора України, особливо в контексті нагальної потреби у «зеленому» повоєнному відновленні та європейської інтеграції. Трансформація галузі набуває особливої актуальності через наслідки військової агресії: масштабні пошкодження лісів, втрати лісового фонду внаслідок мінування та розрив логістичних ланцюгів. Метою

¹ Пелюх Оксана Романівна – кандидат економічних наук, старший викладач кафедри економіки, туризму та рекреації. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. Постдокторант лабораторії аналізу соціально-екологічних систем. Лодзький університет, вул. Р.О.В., 3/5, Лодзь, 90-255, Польща. E-mail: pelyukh.o@nltu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1889-3623>

² Кійко Орест Антонович – академік Лісівничої академії наук України, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри технологій меблів та виробів з деревини. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. E-mail: orest.kiyko@nltu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5504-0278>

³ Соловій Ігор Павлович – академік Лісівничої академії наук України, віце-президент ЛАН України, доктор економічних наук, професор кафедри економіки, туризму та рекреації. Національний лісотехнічний університет України, вул. генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. E-mail: soloviy@yahoo.co.uk ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5885-6264>

⁴ Ільків Михайло Миколайович – асистент кафедри технологій меблів та виробів з деревини. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. E-mail: mykhailo.il'kiv@nltu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-1630-9974>

⁵ 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: lavnyu@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2069-9026>

⁶ Савка Дмитро Богданович – аспірант кафедри технологій захисту навколишнього середовища та безпеки життєдіяльності. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. E-mail: savka.d@nltu.lviv.ua ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-8060-5470>

⁷ Луценко Андрій Олегович – аспірант кафедри технологій меблів та виробів з деревини. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. E-mail: lutsenko.a@nltu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-9628-1279>

⁸ Чопенко Наталія Федорівна – асистент кафедри технологій меблів та виробів з деревини. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. E-mail: nataliya.chopenko@nltu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-2170-5501>

⁹ Яріш Оксана Василівна – кандидат технічних наук, асистент кафедри технологій меблів та виробів з деревини. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. E-mail: oksana.yarish@nltu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-4844-2320>

дослідження є обґрунтування інтегрованого підходу до оцінювання екологічного впливу деревообробних підприємств та їхньої продукції на довкілля, формування бізнес-моделей, орієнтованих на сталість, інтеграція принципів збереження біорізноманіття і природного капіталу у стратегічний розвиток деревообробних підприємств та лісового сектору України загалом на основі результатів проєкту HORIZON Europe CircHive. Результати дослідження засвідчили, що екологічний слід деревообробних підприємств Українських Карпат формується переважно енергоємними технологічними процесами, зокрема сушінням деревини, тоді як прямий вплив первинного лісокористування і транспортування є значно нижчим. Використання альтернативних джерел енергії та впровадження циркулярних підходів дають змогу суттєво скоротити екологічний слід виробництва й підвищити ефективність використання ресурсів. Застосування концептуальної рамки ENCORE підтвердило високу залежність деревообробних підприємств від природного капіталу, а також продемонструвало, що деградація біорізноманіття безпосередньо підвищує операційні та економічні ризики виробничих систем. На основі інтеграції результатів оцінювання екологічного сліду, аналізу залежностей від природного капіталу та емпіричних даних розроблено тривірневі сталі бізнес-моделі, орієнтовані на підвищення доданої вартості продукції, циркулярне використання ресурсів і впровадження кліматично-адаптивних підходів управління. На макрорівні обґрунтовано «Національну стратегію сталого розвитку лісового сектору», що інтегрує економічні, екологічні та соціальні цілі, а також посилює орієнтацію на довгострокову стійкість. Практичне значення результатів полягає у можливості використання запропонованого підходу для формування стратегій сталого розвитку деревообробних підприємств, удосконалення екологічного менеджменту та підвищення ефективності використання лісових ресурсів. Реалізація запропонованих рішень сприятиме розвитку циркулярної економіки, зменшенню негативного впливу на довкілля та забезпеченню довгострокової конкурентоспроможності лісового сектору економіки.

Ключові слова: біорізноманіття; екологічний слід; природний капітал; бізнес-модель; стратегія; стратегічне управління.

Вступ (Introduction).

Сучасний світ зіткнувся зі складними викликами, пов'язаними з поступовим вичерпуванням природних ресурсів, глобальними змінами клімату, військовими конфліктами та іншими кризовими явищами (World Economic Forum, 2026). Однією з ключових причин поглиблення цих проблем є тривале недооцінювання суспільством ролі природи та екосистемних послуг у забезпеченні людського добробуту. Наслідком такого підходу стали деградація екосистем, скорочення біорізноманіття та зниження здатності природних систем підтримувати соціально-економічний розвиток. Ще в 2005 р. у роботі «Оцінка екосистем на порозі тисячоліття» (Reid et al., 2005) зроблено висновок, що зміни екосистем, спричинені діяльністю людини за останні 50 років, відбувалися швидше, ніж у будь-який інший період історії людства. Визначення планетарних меж для критичних ресурсів (Rockström et al., 2009) стало першою спробою привернути увагу до незворотних наслідків втрати біорізноманіття. Подальшим кроком стало ухвалення Куньмінської-Монреальської глобальної рамкової програми з біорізноманіття (Convention on Biological Diversity, 2022), що визначила стратегічний план дій до 2030 р. для зупинення втрати біорізноманіття та відновлення екосистем.

У цьому контексті циркулярна економіка є неодмінним компонентом стратегії забезпечення

сталого розвитку та збереження біорізноманіття, оскільки вона спрямована на перехід від лінійної моделі («видобув – виробив – викинув»), де економічне зростання призводить до руйнування екосистем, до моделі, в якій економічний розвиток базується на замкнених циклах (Корнелюк, Павліха, 2023). Особливе місце у глобальному переході до циркулярних моделей посідає лісовий сектор економіки, який за своєю природою найповніше відповідає принципам замкнених циклів (Дребот та ін., 2025). Такий підхід ґрунтується на відновлюваних ресурсах і здатності екосистем одночасно продукувати повний спектр послуг лісових екосистем (Haines-Young & Potschin, 2023). Проте ефективність деревообробної промисловості часто стримується домінуванням на практиці традиційного лінійного підходу, який призводить до значних втрат: у меблевому та плитному виробництвах частка залишків сировини може сягати 30-40% (Гайда, Киянка, 2025). Уникнення цих втрат вимагає переходу до каскадного використання деревини, де пріоритет надається створенню продукції з високою доданою вартістю та її багаторазовому переробленню перед енергетичним використанням.

Для України питання трансформації деревообробної галузі у структурі лісового сектору набуває особливої актуальності в умовах війни, що спричинила значні пошкодження лісів, втрату лісового фонду через мінування

територій, руйнування логістичних ланцюгів постачання лісопродукції, а, отже, нагальну потребу в «зеленому» повоєнному відновленні (Динька та ін., 2025; Миронець, 2025). Деревообробна галузь країни не може розвиватися без вирішення системних проблем: високий рівень відходів, низька енергоефективність, недостатній рівень інноваційного оновлення технічної бази (Гайда, 2023, 2024; Миронець, 2025), а також висока ціна на деревну сировину і дефіцит кадрів. Поряд з цим, деревообробні підприємства володіють значним потенціалом для впровадження принципів циркулярності, які передбачають не лише перероблення вторинної сировини, але й екодизайн, каскадне використання біомаси та подовження життєвого циклу продукції (Directive EU, 2023; Гайда, 2023; Гайда, Киянка, 2025). Проте чинні методи управління, зокрема понаднормове використання лісової фітомаси (Динька та ін., 2025), недосконалість системи мотивації лісокористувачів до сталого ведення лісового господарства і відсутність ринково орієнтованого механізму стимулювання комплексного використання лісоресурсного потенціалу (Дребот та ін., 2025), не беруть до уваги вартість природного капіталу і вплив виробництва на екосистеми, що призводить до втрати біорізноманіття.

Аналіз сучасних наукових напрацювань засвідчує, що концептуальні засади циркулярної економіки пройшли значну еволюцію: від управління відходами за принципом 3R (*reduce, reuse, recycle*), які з часом були доповнені до 9R (Pavlikha & Korneliuk, 2022; Корнелюк, Павліха, 2023) до складних регенеративних моделей і стратегій створення доданої вартості у замкнених циклах. Теоретична база розвитку деревообробної промисловості також трансформувалася, пройшовши шлях від “раціонального лісокористування” до впровадження принципів циркулярної економіки (Невар, 2023) та стандартів Індустрії 5.0 (Гайда, 2023), де сталість і людиноцентричність стають визначальними чинниками.

На сьогодні у науковій літературі ґрунтовно вивчено питання перероблення деревинних залишків, впровадження каскадного використання біомаси та використання вживаної деревини для виробництва плитних матеріалів (Гайда, 2023, 2024; Гайда, Киянка, 2025). Досліджено соціо-еколого-економічні аспекти енергетичного використання лісової фітомаси та визначено важливість міжнародної лісової сертифікації (FSC та PEFC) для забезпечення сталості ланцюгів постачання (Динька та ін., 2025). Окрему увагу приділено трансформації

підприємницького потенціалу галузі в умовах воєнного стану та обґрунтуванню необхідності адаптивної моделі управління для «зеленого» повоєнного відновлення (Миронець, 2025).

Попри ґрунтовність охарактеризованих напрацювань, динамічність сучасних економічних процесів та сучасні екологічні імперативи зумовлюють наукові прогалини, що потребують подальшого вивчення. Зокрема, більшість досліджень зберігають фрагментарний характер, фокусуючись на окремих технологічних ланках (Невар, 2023), тоді як не вистачає системної інтеграції технічних, екологічних та стратегічних аспектів в єдину модель розвитку деревообробних підприємств (Корнелюк, 2024). Важливою залишається методологічна прогалина в оцінюванні впливу на екосистеми, адже, попри декларацію цінності екосистемних послуг (Kyrylenko et al., 2024), практичні механізми інтеграції оцінювання екологічного сліду (Пелюх та ін., 2023) та обліку природного капіталу безпосередньо у стратегічне управління конкретними підприємствами залишаються фрагментарними (Дребот та ін., 2025). Крім того, спостерігається недосконалість еколого-економічних стимулів, які мають обмежений фінансовий характер і не забезпечують належної мотивації бізнесу до комплексного використання лісоресурсного потенціалу.

Метою дослідження є обґрунтування інтегрованого підходу до оцінювання екологічного впливу деревообробних підприємств та їхньої продукції на довкілля, формування бізнес-моделей, орієнтованих на сталість і формування та інтеграції принципів збереження біорізноманіття і природного капіталу у стратегічний розвиток деревообробних підприємств та лісового сектору України загалом на основі результатів проєкту HORIZON Europe CircHive.

Об’єкти і методика дослідження (Objects and methods).

Об’єктом дослідження є процеси виробничо-господарської діяльності підприємств деревообробного сектору Львівської та Івано-Франківської областей України та їхній вплив на стан навколишнього природного середовища. Серед видів діяльності, відповідно до класифікації видів економічної діяльності цих підприємств є: 16.10 Лісопилне та стругальне виробництво (основний); 02.20 Лісозаготівлі; 46.13 Діяльність посередників у торгівлі деревиною, будівельними матеріалами та санітарно-технічними виробами; 46.73 Оптова торгівля деревиною, будівельними матеріалами та санітарно-технічним обладнанням; 49.41 Вантажний автомобільний транспорт; 16.23 Виробництво інших дерев’яних будівельних конструкцій і столярних виробів.

Предметом дослідження є інтеграція методів оцінювання впливу на довкілля, сталих бізнес-моделей і стратегій збереження біорізноманіття у систему управління деревообробними підприємствами та лісовим сектором України.

Для систематизації основних етапів дослідження та відображення взаємозв'язків між оцінюванням екологічного впливу, аналізом виробничих процесів, формуванням сталих бізнес-моделей і розробленням стратегічних підходів до збереження біорізноманіття сформовано інтегровану концептуальну схему дослідження. Вона відображає логіку реалізації проекту CircHive та послідовність переходу від оцінювання екологічних впливів діяльності деревообробних підприємств до формування стратегічних рішень для забезпечення сталого розвитку та конкурентоспроможності лісового сектору України (рис. 1).

Основу дослідження становила інформація про виробничо-господарську діяльність досліджуваних деревообробних підприємств та

їхній вплив на довкілля. Для оцінювання цього впливу застосовано методологію екологічного сліду (Пелюх та ін., 2023; Soloviy et al., 2024; Pelyukh et al., 2025; Кійко та ін., 2025), що дало змогу визначити вплив окремих компонентів виробничо-господарської діяльності підприємств на довкілля. Для дослідження бізнес-моделей використано метод кейс-стаді, моделювання для розроблення прототипів трирівневої бізнес-моделі, орієнтованої на сталість підприємства лісового господарства та глибинні експертні інтерв'ю з працівниками досліджуваного підприємства щодо соціо-еколого-економічних аспектів виробничо-господарської діяльності і бачення майбутнього розвитку у контексті досягнення цілей сталого розвитку (Соловій та ін., 2024). Для розроблення стратегій збереження біорізноманіття та сталого розвитку застосовано інтегрований і стратегічний підходи з урахуванням принципів сталого розвитку та циркулярної економіки.



Рис. 1. Інтегрований підхід до циркулярної трансформації підприємств деревообробної галузі лісового сектора економіки

Fig. 1. An integrated approach to the circular transformation of woodworking enterprises in the forest sector of the economy

Результати (Results).

Аналіз виробничих процесів та використання природних ресурсів відбувся на основі вивчення організаційних, виробничих і технологічних процесів під час відвідин досліджуваних деревообробних підприємств групою дослідників НЛТУ України (рис. 2). Такі відвідини були спрямовані на апробацію

методичних підходів до оцінювання екологічних характеристик продукції й підприємств у реальних виробничих умовах. У межах відвідин зібрано емпіричні дані щодо ланцюгів постачання, технологічних операцій та управління побічними продуктами виробництва, що становило основу для подальшого розрахунку екологічного сліду продукції та

підприємства, оцінювання впливу на стратегій збереження біорізноманіття та сталого біорізноманіття розробки бізнес-моделей і розвитку.



Рис. 2. Робочі візити команди дослідників НЛТУ України на виробничі потужності досліджуваних деревообробних підприємств

Fig. 2. Working visits of the UNFU research team to the production facilities of the studied woodworking enterprises

Теоретико-методичною основою досліджень стали напрацювання щодо встановлення ключових визначень і концепцій біорізноманіття, узагальнення даних та баз даних, пов'язаних з обліком біорізноманіття та природного капіталу, узагальнення результатів, надання вказівок щодо їх використання у формі електронної таблиці, що містить бази даних, надання загальних вказівок і рекомендацій. Ці матеріали відображені в аналітичному звіті проекту CircHive D1.1 «Описовий звіт баз даних біорізноманіття» («Descriptive report of the Biodiversity Databases») (CircHive reports, 2026). Окрему увагу приділено картуванню методів для оцінювання біорізноманіття. Зокрема, охоплено 10 методів обліку природного капіталу, 31 метод оцінювання життєвого циклу та п'ять методів, базованих на вхідних-вихідних моделях. Усі методи описано в додатку до аналітичного звіту D2.1 «Синтез підходів до обліку природного капіталу та біорізноманіття для приватного та публічного секторів» («Synthesizing landscape of approaches for natural capital accounting & biodiversity footprinting for private & public sectors») з детальними рекомендаціями щодо їхнього використання, а також можливостями та обмеженнями кожного з них.

У результаті проведених досліджень із застосуванням методології екологічного сліду (Soloviy et al., 2024; Pelyukh et al., 2025) для двох типових деревообробних підприємств Українських Карпат встановлено суттєву диференціацію впливу різних стадій виробничого ланцюга на загальне екологічне навантаження (рис. 3). Розрахунки для основних продуктів – меблевих плит та конструкційного бруса показали, що

загальний екологічний слід становить відповідно 0,475 та 0,111 $\text{м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$, що відображає різну інтенсивність використання ресурсів та енергетичних потоків у технологічних процесах.

Аналіз структури екологічного сліду засвідчив, що ключовим чинником впливу є не безпосереднє використання лісових ресурсів, а непрямі енергетичні процеси, пов'язані з виробництвом теплової та електричної енергії. Зокрема встановлено, що процеси сушіння деревини формують до 75-80% сукупного екологічного сліду продукції, тоді як внесок транспортування сировини та первинного лісочористування є значно меншим і не перевищує 10-15% у сукупній структурі впливу.

Особливу увагу приділено використанню побічної деревної біомаси як джерела теплової енергії, що, з одного боку, формує елементи циркулярності виробництва, а з іншого – є ключовим джерелом викидів парникових газів у межах виробничого циклу. Розрахунки альтернативних сценаріїв засвідчили, що заміщення біомаси альтернативними джерелами енергії (зокрема електроенергією з відновлюваних джерел) дає змогу скоротити екологічний слід виробництва до 70-75%, що підтверджує визначальну роль енергетичного чинника у формуванні екологічного навантаження.

Додатково масштабування результатів на рівень підприємств і виробничих сценаріїв (Кійко та ін., 2025) показало, що сумарний екологічний слід формується кумулятивним ефектом виробничих процесів, а найбільший вплив мають саме енергомісткі стадії технологічного циклу, а не первинне використання деревної сировини (рис. 4).

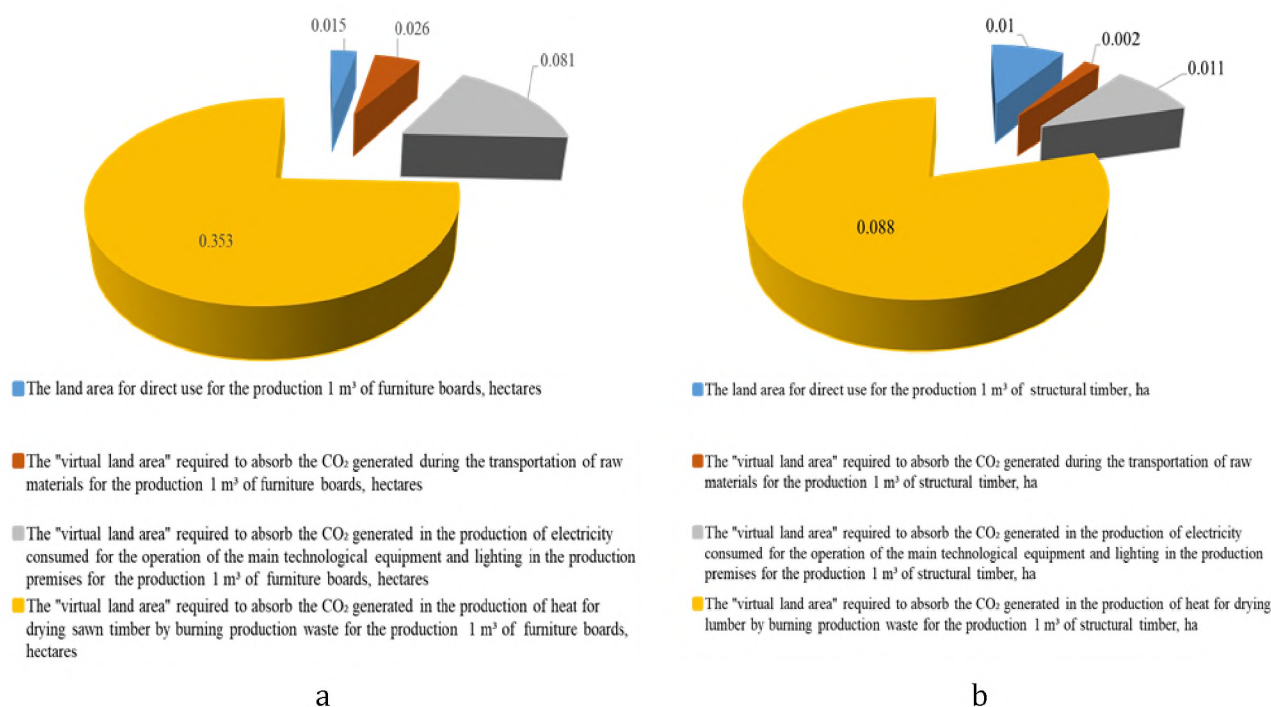


Рис. 3. а – Структура екологічного сліду 1 м³ меблевого щита; б – Структура екологічного сліду 1 м³ конструкційного бруса
 Fig. 3. a – Structure of the ecological footprint of 1 m³ of furniture board; b – Structure of the ecological footprint of 1 m³ of solid structural timber

Оцінювання впливу деревообробних підприємств на біорізноманіття виконано шляхом застосування концептуальної рамки ENCORE (*Exploring Natural Capital Opportunities, Risks and Exposure*), що дало змогу вийти за межі кількісної оцінки екологічного сліду та зрозуміти глибинні залежності бізнесу від природного капіталу. Аналіз ENCORE показав, що підприємства деревообробної галузі мають високу залежність від трьох груп екосистемних функцій: постачальних (деревина як сировина), регулювальних (кліматична та гідрологічна стабільність) та підтримувальних (збереження біорізноманіття і ґрунтових процесів). Деградація або зниження функціональності цих компонентів призводить до прямого зростання операційних ризиків, серед як нестабільність постачання сировини, зниження її якості та підвищення виробничих витрат.

Отже, виробничі системи деревообробних підприємств не лише залежать від стану біорізноманіття, але й активно формують зворотний вплив на нього через сукупність прямих і непрямих технологічних та енергетичних процесів. Цей аспект обґрунтовує необхідність переходу від реактивного до проактивного підходу в управлінні природним капіталом, де біорізноманіття розглядається як ключовий чинник довгострокової стійкості виробничих систем.

У результаті дослідження сформовано та концептуально апробовано сталі бізнес-моделі

для двох типових деревообробних підприємств (Соловій та ін., 2024), які відображають перехід від традиційної лінійної моделі виробництва до циркулярно орієнтованих і кліматично адаптивних підходів. Розроблені моделі базуються на інтеграції результатів оцінювання екологічного сліду, аналізу залежностей від природного капіталу (ENCORE) та емпіричних даних, отриманих під час польових досліджень у межах проекту CircHive. На рис. 5 представлено екологічний шар однієї з розроблених бізнес-моделей, що дало змогу ідентифікувати основні джерела екологічного навантаження та визначити напрями трансформації виробничих процесів відповідно до принципів циркулярної економіки та кліматичної нейтральності.

У межах компоненти «Функціональна цінність» об'єктом аналізу визначено виробництво меблевого щита, а також супутньої продукції у вигляді брикетів і пелет. Функціональною одиницею є 1 м³ меблевого щита, що слугує основою для порівняння екологічних характеристик альтернативних варіантів бізнес-моделі та оцінювання потенційних ефектів від впровадження інноваційних рішень.

Компонент «Матеріали» засвідчив високу залежність підприємства від лісових ресурсів як основного виду природного капіталу. Аналіз показав, що деревина формує 81% виснаження абіотичних невикопних ресурсів (ADPE), 43%

виснаження викопних ресурсів (*ADPF*) та 39% потенціалу глобального потепління (*GWP*). Для виробництва 1 м³ меблевого щита необхідно 3,81 м³ деревини, що відповідає прямому

землекористуванню площею 0,015 га. Додатковим джерелом екологічного впливу є клей, що використовують в процесах склеювання та який становить близько 3% показника *ADPF*.

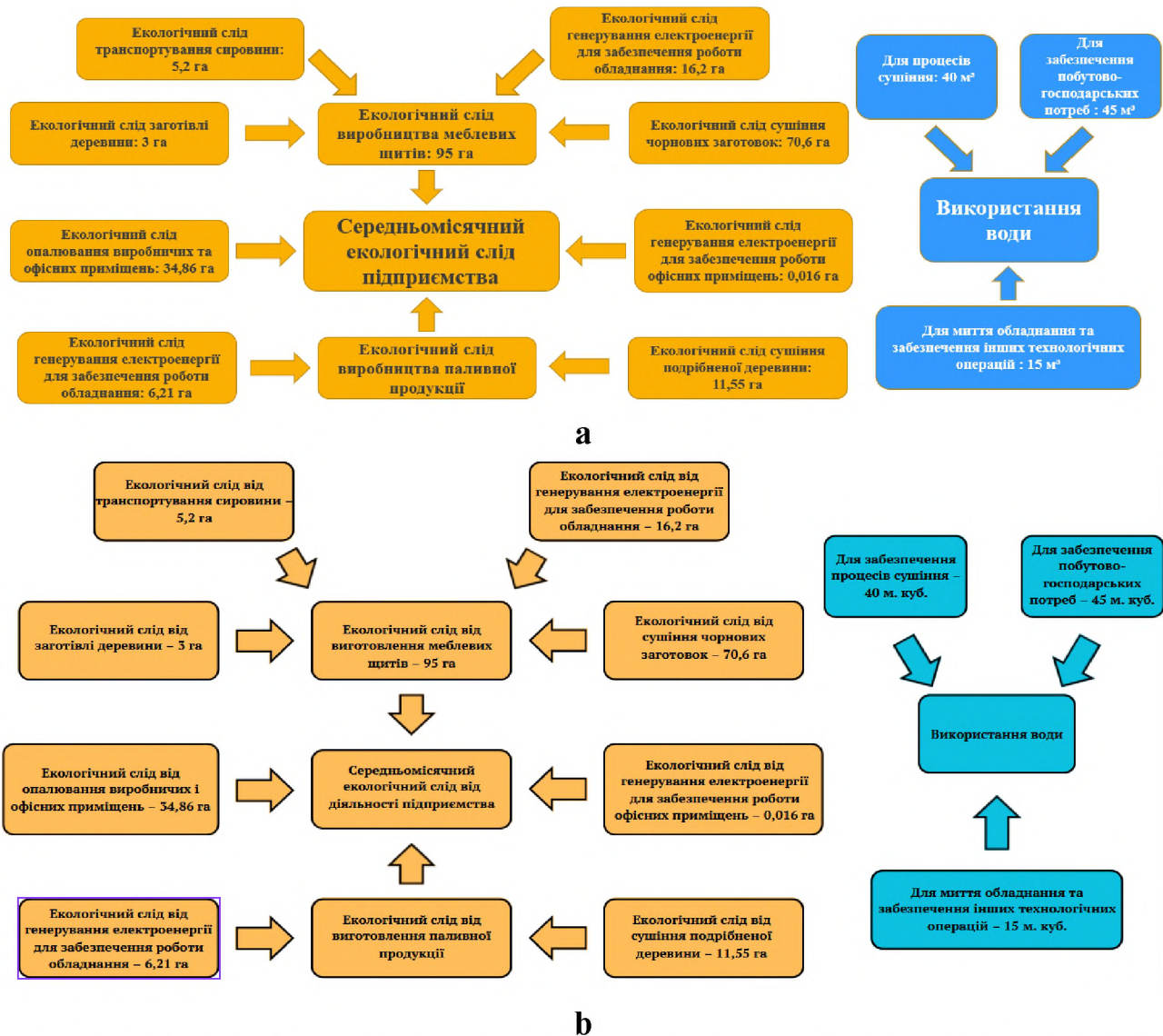


Рис. 4. а – Структура екологічного сліду підприємства, що спеціалізується на виготовленні меблевого щита; б – Структура екологічного сліду підприємства, що спеціалізується на виготовленні конструкційного бруса

Fig. 4. a – Structure of the ecological footprint of an enterprise specialising in the furniture board production; b – Structure of the ecological footprint of an enterprise specialising in the solid structural timber production

Аналіз компонента «Виробництво» показав, що ключовими процесами створення вартості є транспортування сировини, сушіння пиломатеріалів, розкрій та склеювання, а також виробництво теплової енергії. Транспортування круглих лісоматеріалів автомобільним транспортом забезпечує 6% потенціалу закислення, 10% виснаження викопних ресурсів та 8% потенціалу глобального потепління. За розрахунками екологічного сліду, для компенсації викидів CO₂, пов'язаних із транспортуванням сировини на середню відстань 200 км, необхідно 0,026 га умовної площі лісу.

Найбільш критичним виробничим процесом є сушіння деревини, яке становить 46% потенціалу закислення та забезпечує найбільшу частку загального екологічного навантаження підприємства. Для поглинання викидів CO₂, пов'язаних із виробництвом теплової енергії для сушіння 1 м³ меблевого щита, необхідно 0,37 га віртуальної площі землі. Водночас генерація теплової енергії забезпечує близько 22% сукупних викидів на етапі «від колиски до воріт підприємства», що свідчить про доцільність модернізації енергетичної системи як одного із пріоритетних напрямів екологічної трансформації.

Постачання та аутсорсинг Обладнання Сертифікація FSC Електроенергія для виробництва ($EF = 0,081$ га, $ADPF = 31\%$, $GWP = 35\%$)	Виробництво Транспортування сировини ($EF = 0,026$ га, 200 км, $AP = 6\%$, $ADPF = 10\%$, $GWP = 8\%$) Сушіння деревини ($EF = 0,37$ га, $AP = 46\%$) Обрізання Склеювання Виробництво теплової енергії на місці ($AP = 22\%$)	Функціональна цінність 1 м³ меблевого щита (додатково брикети та пелети) Щомісячний обсяг виробництва меблевого щита – 200 м³	Кінець життєвого циклу Деревина (42%) Витратні пакувальні матеріали (33%) Клей (16%)	Фаза використання Додаткові матеріали для створення кінцевого продукту з використанням меблевої плити
	Матеріали Лісові ресурси ($EF = 0,015$ га, 3,81 м³, $ADPE = 81\%$, $ADPF = 43\%$, $GWP = 39\%$) Клей ($ADPF = 3\%$)		Розповсюдження Витратні та пакувальні матеріали ($EP = 7\%$, $ADPE = 6\%$, $ADPF = 10\%$) Транспортування до споживачів ($EF = 0,019$ га, 800 км)	
Екологічні впливи «->» Загальний EF 1 м³ меблевого щита (додатково брикети та пелети) становить 0,511 га, де сушіння деревини становить 72% EF (0,37 га). Виробництво конструкційної деревини генерує 48% GWP.			Екологічні вигоди «+» Запровадження використання відновлюваних джерел енергії (наприклад, сонячних панелей). Використання деревних відходів як сировини для виробництва деревостружкових плит, деревоволокнистих плит, МДФ, целюлозних волокон, паперу або пакувального картону. Ефект зберігання CO₂. Ефект заміщення.	

Рис. 5. Структура екологічного сліду підприємства, що спеціалізується на виготовленні меблевого щита: EF – екологічний слід; LCA – оцінювання життєвого циклу; GWP – потенціал глобального потепління; AP – потенціал закислення; EP – загальний потенціал впливу на довкілля; $ADPE$ – потенціал виснаження абіотичних ресурсів (невикопні ресурси); $ADPF$ – потенціал виснаження абіотичних ресурсів (викопні ресурси)

Fig. 5. Structure of the ecological footprint of an enterprise specializing in the furniture board production: EF – ecological footprint; LCE – Life cycle Assessment; GWP – Global Warming Potential; AP – Acidification Potential; EP – the total Environmental Impact Potential; $ADPE$ – Abiotic Depletion Potential non-fossil resources; $ADPF$ – Abiotic Depletion Potential Fossil Resources

У межах компоненти «Постачання та аутсорсинг» встановлено суттєвий вплив електроенергії на екологічні показники підприємства. На її частку припадає 35% потенціалу глобального потепління та 31% виснаження викопних ресурсів. Для компенсації викидів, пов'язаних із використанням електроенергії під час виробництва 1 м³ меблевого щита, необхідно 0,081 га віртуальної площі землі. Водночас використання сертифікованої FSC-сировини розглядається як важливий механізм збереження природного капіталу та забезпечення сталого управління лісовими ресурсами.

Компонент «Дистрибуція» відображає екологічні наслідки експорту продукції на європейські ринки. Значні транспортні відстані та переважне використання автомобільного транспорту формують додаткове екологічне навантаження. Окрім перевезення продукції, екологічний вплив пов'язаний із використанням дерев'яних піддонів та пакувальних матеріалів, які формують частину показників евтрофікації та виснаження ресурсів. Екологічний слід транспортування готової продукції до споживачів оцінено на рівні 0,019 га на 1 м³ меблевого щита.

Фаза використання продукції характеризується відносно незначним екологічним впливом порівняно з виробничими стадіями. Основні екологічні витрати пов'язані з використанням додаткових матеріалів під час виготовлення кінцевої продукції, однак їхній внесок залишається суттєво нижчим порівняно з процесами виробництва і транспортування.

У компоненті «Завершення життєвого циклу» ключове значення мають процеси поводження з відходами виробництва та споживання. Найбільшу частку становлять відходи деревини, клеїв, а також пакувальних матеріалів. Саме на цьому етапі формуються передумови для впровадження циркулярних практик через повторне використання, перероблення та залучення вторинної сировини до нових виробничих циклів.

Оцінювання компонента «Екологічні впливи» показало, що найбільше навантаження створює сушіння пиломатеріалів, на яке припадає близько 72% загального екологічного сліду підприємства. Крім того, сушіння та спалювання на попередніх етапах ланцюга постачання формують майже три чверті потенціалу евтрофікації, тоді як виробничі процеси загалом забезпечують 48% потенціалу глобального потепління. Результати підтверджують, що саме енергетичний контур підприємства є основним об'єктом екологічних інновацій.

Водночас компонента «Екологічні переваги» продемонструвала значний потенціал для створення позитивної екологічної цінності. Насамперед це пов'язано з використанням відновлюваних джерел енергії, зокрема сонячних електростанцій, що дає змогу суттєво скоротити екологічний слід виробництва. Додаткові переваги забезпечуються повторним використанням деревних відходів, як вторинної сировини, для виробництва деревних плит, целюлозних волокон і пакувальних матеріалів. Важливе значення мають також ефекти довготривалого нагромадження вуглецю у деревній продукції та заміщення більш вуглецеємних матеріалів деревними альтернативами. Таким чином, запропонована екологічна бізнес-модель поєднує заходи зі зниження екологічного навантаження із механізмами створення додаткової екологічної цінності, що відповідає принципам циркулярної біоекономіки і сталого розвитку.

Сформовані бізнес-моделі деревообробних підприємств дали змогу встановити, що ключовим елементом є переорієнтація з продажу напівфабрикатів (пиломатеріали, конструкційний брус) на виробництво продукції з високою доданою вартістю, зокрема дерев'яних конструк-

ційних систем і рішень для «зеленого» будівництва. Такий перехід забезпечує підвищення економічної ефективності завдяки довшому життєвому циклу продукції та монетизації нагромадженого у деревині вуглецю.

Другим ключовим елементом бізнес-трансформації визначено переосмислення ролі недеревних продуктів лісу. Запропоновано модель їх часткової комерціалізації як сировини для суміжних галузей (фармацевтика, косметологія тощо). Це дає можливість одночасно знизити екологічне навантаження та підвищити економічну віддачу ресурсних потоків, формуючи додаткові джерела доходу для підприємств.

Третім компонентом запропонованих бізнес-моделей є інтеграція принципів природного капіталу та кліматичної звітності у систему управління підприємствами. Це передбачає врахування екологічного сліду продукції як економічно значущого показника, що безпосередньо впливає на доступ до міжнародних ринків, інвестицій і «зеленого» фінансування. У цьому контексті екологічні показники перетворюються з обмежувальних чинників на конкурентні переваги.

На основі узагальнення попередніх етапів дослідження, включаючи оцінювання екологічного сліду, аналіз впливу на біорізноманіття та формування бізнес-моделей, розроблено комплекс стратегічних документів як на рівні окремих підприємств, так і на рівні галузі в цілому. Для типових деревообробних підприємств сформовано стратегії сталого розвитку, що базуються на трирівневій бізнес-моделі, яка забезпечує баланс між економічною ефективністю, екологічною відповідальністю та соціальною складовою. У центрі стратегічного підходу – прийняття управлінських рішень на основі даних, зокрема результатів оцінювання екологічного сліду, індикаторів біорізноманіття, підходів ENCORE та принципів обліку природного капіталу. Такий підхід дає змогу підприємствам не лише оцінювати свій вплив, але й системно управляти ним у довгостроковій перспективі.

Запропоновані стратегії для типових деревообробних підприємств передбачають перехід до сталих моделей розвитку, цифровізацію управлінських процесів, впровадження систем моніторингу ланцюгів постачання відповідно до вимог EU Deforestation Regulation (European Union, 2023), а також посилення ролі міжнародної сертифікації (зокрема FSC та PEFC) як інструменту підвищення ринкової конкурентоспроможності. Окремо акцентовано увагу на розвитку інновацій у сфері деревинних

матеріалів та розширенні співпраці зі стейкхолдерами.

Стратегія підприємства, що спеціалізується на виробництві меблевих щитів, у сфері збереження біорізноманіття на 2026-2036 рр. базується на трьох рівнях стійкості: екологічному, економічному та соціальному. Кожен із цих рівнів містить взаємопов'язані заходи, спрямовані на досягнення довгострокової мети.

Екологічна стійкість. Ключовим напрямом для підприємства є інвестиції у технологічну модернізацію, що забезпечить суттєве зменшення екологічного сліду. Найпріоритетнішим кроком є перехід на альтернативні джерела енергії для сушильного господарства, оскільки цей процес є найбільшим джерелом викидів CO₂. Обґрунтуванням для таких інвестицій є не лише екологічна доцільність, але й економічна вигода. Повний перехід на сонячні панелі для сушіння сировини дасть змогу зменшити показник екологічного сліду, пов'язаного з цим процесом, з 0,353 до 0,028 м³·га⁻¹, що є значним досягненням.

Технологічна модернізація створює синергетичний ефект, що виходить за межі екологічних показників. Відмова від спалювання деревини для генерування теплової енергії для сушіння сировини на виготовлення меблевих щитів та паливної продукції, а також опалювання виробничих та офісних приміщень у осінньо-зимовий період, щорічно вивільнятиме приблизно 2500 м³ відходів. Ці вивільнені відходи можуть бути використані як сировина для виробництва іншої продукції з вищою доданою вартістю, наприклад, плитних матеріалів. Таким чином, інвестиції в “зелені” технології є не просто витратами, а рушійною силою для економічної трансформації, що дає змогу диверсифікувати бізнес-модель та отримати нові джерела доходу.

Іншим критичним елементом є управління ланцюгом постачання та відповідність вимогам EUDR. Підприємство має використати чинну електронну систему обліку деревини як основу для створення власної, більш деталізованої цифрової платформи. Ця платформа повинна включати обов'язкове відстеження GPS-координат ділянок заготівлі, що є ключовою вимогою EUDR. Навіть попри отриманий статус України як “країни із низьким ризиком” у питанні знеліснення, повна прозорість та впровадження системи належної обачності (Due Diligence System) забезпечить підприємству стійку конкурентну перевагу на ринку ЄС.

Для збереження біорізноманіття повинні бути передбачені активні програми компенсації та відновлення, що включає щорічний облік

біорізноманіття, інвестиції у відновлення деградованих лісових екосистем та створення буферних зон. Ці заходи виходять за межі розрахунку екологічного сліду і є ключовим елементом відповідальності підприємства перед довкіллям і суспільством.

Економічна стійкість. На додаток до екологічної модернізації, ключовим напрямом стратегії є диверсифікація продукції. Меблеві щити, що є основним продуктом підприємства – це лише напівфабрикат. Перехід до виробництва готових меблів (наприклад, столів, шаф, комодів) дозволить значно мінімізувати залежність від коливань цін на сировину та отримати доступ до нових, більш прибуткових ринкових сегментів. Цей крок вимагає фундаментальної трансформації бізнес-моделі: від B2B-постачальника сировини до B2C/B2B-виробника та бренду. Ця зміна потребує інвестицій не лише в нове обладнання для розкрою, оброблення, складання та фінішного опрацювання, але й у R&D, дизайн, маркетинг та логістику.

Позиціонування на ринку є не менш важливим елементом стратегії. Підприємство, що спеціалізується на виробництві меблевих щитів, вже має FSC-сертифікат, який є потужним маркетинговим інструментом на європейському ринку, оскільки засвідчує відповідальне ведення господарства. Стратегія базується на позиціонуванні “подвійного” ефекту: використання FSC-сертифікованої деревини та мінімальний вуглецевий слід за рахунок переходу на сонячну енергію. Ця унікальна комбінація створює потужну конкурентну перевагу, що дасть змогу залучати клієнтів, які надають перевагу екологічно відповідальній продукції.

Соціальна стійкість. Соціальна стійкість є невід'ємною складовою стратегії формування “зелених” робочих місць і розвитку ринку праці в Україні. Перехід на виробництво готових меблів та впровадження нових технологій вимагають перекваліфікації персоналу, що робить інвестиції в людський капітал критично важливими. Таким чином соціальна стійкість стає активним стратегічним інструментом забезпечення кваліфікованої робочої сили для майбутніх потреб підприємства. Цей аспект включає розробку програм навчання з екологічної компетентності, технічних навичок для роботи з новим обладнанням та безпеку праці. Проактивна комунікація з місцевим населенням, підтримка освітніх ініціатив та спільні проекти з відновлення лісів посилять “соціальну ліцензію на діяльність” підприємства та зміцнять його репутацію як надійного партнера та відповідального члена громади. Ключові показники ефективності розробленої

Стратегії збереження біорізноманіття підприємства зведені у табл. 1.

Стратегія збереження біорізноманіття підприємства, що спеціалізується на вигот-

товленні конструкційного бруса на 2026-2036 рр., як і попередня Стратегія, ґрунтується на тривірневій моделі екологічної, економічної та соціальної стійкості.

Таблиця 1. Ключові показники ефективності стратегії збереження біорізноманіття підприємства, що спеціалізується на виготовленні меблевих щитів на 2026-2036 роки

Table 1. Key Performance Indicators for the biodiversity conservation strategy of a company specializing in the production of furniture boards for 2026-2036

Категорія	Ключові показники ефективності	Одиниця виміру	Базове значення (2025)	Цільове значення (2036)	Проміжний моніторинг (2030)
Екологічні	Загальний екологічний слід на 1 м ³ меблевого щита	га/м ³	0,475	< 0,1	< 0,25
	Частка сонячної енергії у споживанні тепла	%	0	> 90	> 50
	Обсяг вивільнених відходів: -при виготовленні МЩ -при виготовленні ПП -при опалюванні	м ³	0 0 0	≈ 1775 ≈ 290 ≈ 440	≈ 890 ≈ 145 ≈ 220
	Екологічний слід від транспортування	га/м ³	0,026	< 0,026	< 0,026
	Екологічний слід від електроенергії	га/м ³	0,081	< 0,021	< 0,04
	Обсяг відновлених лісів з моніторингом біорізноманіття	га/рік	-	> 50	> 20
Економічні	Зростання прибутку від продукції з доданою вартістю (меблів)	%	0	> 500	> 100
	Частка експорту готових меблів	%	0	> 30	> 10
	Інвестиції в “зелені” технології	EUR	0	N/A	N/A
Соціальні	Кількість створених “зелених” робочих місць	осіб	0	> 20	> 10
	Години навчання персоналу з питань сталого розвитку	год/особа	0	> 20	> 10
	Рейтинг задоволеності працівників	%	N/A	> 85	> 70

Екологічна стійкість. Фундаментальна мета цього рівня – суттєве скорочення екологічного сліду шляхом усунення найбільшого джерела викидів і впровадження активних заходів зі збереження біорізноманіття. Досягнення цієї мети можливе насамперед завдяки енергетичній трансформації та декарбонізації. Основний пріоритет – перехід на альтернативні джерела енергії для теплогенерації. Аналіз показав, що заміна спалювання відходів на електроенергію, вироблену за рахунок сонячної або вітрової генерації, дасть змогу скоротити екологічний слід сушильного господарства на 92% (з 0,088 до 0,007 га/м³), а також екологічний слід опалювання виробничих приміщень на 91,5% (з 8,79 до 0,75 га/міс). Цей крок вимагає значних інвес-

тицій у власні сонячні чи вітрові потужності або укладання довгострокових контрактів на закупівлю “зеленої” енергії. Така модернізація має подвійний позитивний ефект: 1) скорочення ЕС виготовлення конструкційного бруса на 73%, що робить його надзвичайно конкурентним виробом; 2) модернізація обладнання для продукування теплової енергії та перехід на електроенергію, яка згенерована завдяки альтернативним джерелам; цей захід призведе до вивільнення приблизно 2180 м³ деревних відходів щороку, що створить умови для додаткового прибутку підприємства та раціонального використання сировини.

Іншим напрямом є збереження біорізноманіття і стале ведення лісового господарства.

Діяльність підприємства нерозривно пов'язана зі “здоров’ям” лісів Карпатського регіону. Стратегія збереження біорізноманіття вимагає наступних проактивних заходів, що виходять за межі простого дотримання нормативів: 1) посилення дотримання стандартів лісової сертифікації (FSC/PEFC), вимога для постачальників сировини суворо дотримуватись сертифікаційних вимог, включаючи захист високоцінних природоохоронних територій, мінімізацію впливу на ключові види флори і фауни, збереження структури лісів; 2) компенсаційні програми, що передбачають активну участь у програмах відновлення лісового фонду, включаючи лісовідновлення з використання стійких до зміни клімату місцевих видів, зокрема й смереки, деревина якої є основною сировиною для підприємства; 3) захист екосистемних послуг, що передбачає інвестування у створення та моніторинг буферних зон і захист прибережних територій у зонах заготівлі, що безпосередньо підтримує регулювання водних потоків та якість води; 4) управління водними ресурсами та мінімізація забруднення, що забезпечується впровадженням замкнутих циклів водокористування, особливо для технологічних потреб.

Економічна стійкість. Економічна стійкість підприємства на наступні 10 років не може ґрунтуватися лише на виробництві конструкційного бруса. Стратегія вимагає переходу до продукції з високою доданою вартістю у сфері “зеленого” будівництва, зокрема, на каркасне будівництво та монетизацію вивільнених ресурсів. Головний економічний важіль – це використання вивільнених 2180 м³ деревних відходів щороку як сировини для нових продуктів (наприклад, плитних матеріалів). Основний стратегічний напрям диверсифікації – виробництво готових рішень для будівництва дерев’яних каркасних будинків та інших будівельних компонентів. Реалізація цього напрямку передбачає розширення продуктової пропозиції підприємства та формування додаткових джерел економічної цінності, зокрема через капіталізацію екологічних переваг деревинної продукції. З цією метою пропонуються такі ключові заходи:

1) *Продуктова лінійка HWP (Harvested Wood Products)*. Розширення асортименту для виробництва готових будівельних рішень, таких як дерев’яні каркасні конструкції та модульні компоненти для будівництва індустріальних, житлових та соціальних споруд. Це перетворить підприємство з постачальника напівфабрикату на інтегратора рішень.

2) *Створення вуглецевого активу*. Використання деревини у довговічних будівельних конструкціях забезпечує тривале зберігання вуглецю (decade-long carbon storage). Цей вуглецевий актив є потужним фінансовим аргументом для залучення “кліматичного” фінансування та участі в європейських програмах відбудови.

Також Стратегія передбачає інтеграцію обліку природного капіталу в звітність підприємства, що дасть змогу оцінити фінансову цінність екологічних переваг, зокрема вартості вуглецю, збереженого у виробничому обсязі HWP. Це забезпечить точніше відображення справжньої вартості бізнесу, що важливо для залучення відповідальних інвесторів та “кліматичного” фінансування.

Соціальна стійкість. Соціальна стійкість є запорукою довгострокової репутації та доступу до ключових ринків, особливо ЄС і передбачає розвиток “зеленого” людського капіталу. Зокрема це стосується переходу до виробництва HWP та використання сонячної або вітрової генерації, що вимагає трансформації кваліфікації робочої сили. Стратегія передбачає: розроблення навчальних програм, спрямованих на нові технології: монтаж та обслуговування обладнання для сонячної або вітрової генерації, інженерні процеси виробництва дерев’яних каркасних конструкцій та цифрові інструменти для забезпечення EUDR-відповідності; створення “зелених” робочих місць у сфері інженерії, R&D і монтажу, що сприятиме розвитку ринку праці та соціальної стабільності в регіоні; активну співпрацю з місцевими громадами, підтримку освітніх ініціатив і реалізацію спільних проєктів з лісовідновлення для зміцнення “соціальної ліцензії на діяльність”.

Бездоганна відповідність Регламенту ЄС щодо знеліснення (EUDR) є критичною передумовою для експорту продукції до країн ЄС. Тому Стратегія підприємства включає розроблення та впровадження комплексної системи підтримки прийняття управлінських рішень, що охоплює збір інформації про походження деревини, оцінювання ризиків знеліснення / нелегальної заготівлі та проактивні заходи з пом’якшення ризиків. Також передбачено посилення вимог FSC або PEFC сертифікації, що є необхідною умовою для участі в проєктах зеленого будівництва та використання електронної системи обліку деревини як основи для впровадження GIS-технологій, які забезпечують можливість отримувати та зберігати геолокаційні дані ділянок заготівлі згідно з вимогою EUDR. Ключові показники ефективності Стратегії

збереження біорізноманіття підприємства зведені у табл. 2.

На рівні лісового сектору України дослідницькою групою проекту Circle розроблено «Національну стратегію сталого розвитку лісового сектору», яка формує комплексну

рамку трансформації галузі в умовах європейської інтеграції та «зеленого» переходу. Стратегія передбачає впровадження трирівневої бізнес-моделі розвитку сектору, що інтегрує економічні, екологічні та соціальні цілі, а також посилює орієнтацію на довгострокову стійкість.

Таблиця 2. Ключові показники ефективності збереження біорізноманіття підприємства, що спеціалізується на виготовленні конструкційного бруса на 2026-2036 роки

Table 2. Key Performance Indicators for biodiversity conservation at a company specializing in the manufacture of structural timber for 2026-2036

Категорія	Ключові показники ефективності	Одиниця виміру	Базове значення (2025)	Цільове значення (2036)	Проміжний моніторинг (2030)
Екологічні	Загальний екологічний слід на 1 м ³ продукції	га/м ³	0,1105	< 0,04	< 0,07
	Частка АДЕ у виробництві теплової енергії для процесів сушіння	%	0	> 95	> 50
	Обсяг вивільнених відходів, які використовують для нової продукції	м ³	0	> 2000	> 1000
	Споживання свіжої води	м ³ /міс	80	Зниження на 30%	Зниження на 15%
	Обсяг відновлених лісів з моніторингом біорізноманіття	га/рік	-	> 50	> 20
Економічні	Частка доходу від реалізації каркасних дерев'яних будинків	%	0	> 40	> 15
	Інвестиції в зелені технології (АДЕ)	EUR	0	N/A	N/A
	Зростання експорту продукції до країн ЄС	%	0	> 300	> 100
Соціальні	Кількість створених "зелених" робочих місць	осіб	0	> 30	> 15
	Години навчання персоналу з питань сталого розвитку	год/особа	0	> 20	> 10
	Показник відповідності EUDR	%	N/A	100	> 90
	Рейтинг задоволеності працівників	%	N/A	> 85	> 70

Ключовими напрямами реалізації Стратегії визначено: реформу регуляторної політики з інтеграцією вимог щодо біорізноманіття та природного капіталу; запровадження системи державних закупівель з урахуванням екологічних критеріїв; розвиток обов'язкової нефінансової звітності, гармонізованої з європейськими підходами; застосування економічних інструментів, зокрема платежів за екосистемні послуги та механізмів зеленого / кліматичного / сталого фінансування; цифрову трансформацію сектору для забезпечення прозорості та простежуваності; розвиток систем сертифікації та стимулювання сталого ведення лісового господарства; створення національної системи моніторингу біорізноманіття та відкритих даних.

Обґрунтовано такі ключові рушії імплементації стратегії: *Ключовий рушій 1*: сталий розвиток та збереження біорізноманіття – це не витрати, а фундамент конкурентоспроможності та доступу на преміальні ринки ЄС. *Ключовий*

рушій 2: цифрова простежуваність (дотримання EUDR) – технологічний інструмент для очищення ринку від нелегальної деревини та залучення інвестицій у модернізацію. *Ключовий рушій 3*: облік природного капіталу – сучасний метод управління ризиками та капіталізацією бізнесу в умовах кліматичних змін. *Ключовий рушій 4*: підхід циркулярної економіки у використанні деревини – шлях до енерго-незалежності та збереження ресурсного потенціалу України.

Дискусія (Discussion).

Результати дослідження підтверджують, що ключовим чинником екологічного сліду деревообробних підприємств є не лише використання деревної сировини, але й наявність енергомістких процесів, зокрема сушіння та виробництво теплової енергії, які формують 75-80% загального екологічного сліду. Ці результати корелюють з результатами дослідження Xie et al. (2024), де вказано, що

споживання енергії та використання хімічних добавок під час оброблення деревини можуть становити понад 50% загальних викидів парникових газів. Отримані результати також узгоджуються з висновками Гайди (2023) та Гайди, Киянки (2025), які наголошують на високій ресурсо- та енергомісткості деревообробної промисловості. Таким чином виникає необхідність переосмислення традиційних підходів до екологізації галузі, які фокусуються на раціональному лісокористуванні (Miassi & Dossa, 2024; Дребот та ін., 2025). Результати дослідження засвідчують, що справжній «розрив зв'язку» між зростанням виробництва та деградацією довкілля в деревообробці лежить у площині енергетичної трансформації.

Дослідження розширює попередні напрацювання шляхом застосування концептуальної рамки ENCORE для аналізу залежностей бізнесу від природного капіталу, що дало змогу вийти за межі кількісних показників і розкрити фундаментальні залежності деревообробних підприємств від послуг лісових екосистем (Haines-Young & Potschin, 2023). Такі висновки корелюють із положеннями Plev et al. (2025) про багатогранну роль лісів у забезпеченні глобального суспільного добробуту. Інтеграція індикаторів ENCORE у стратегічні документи дає змогу підприємствам системно інтегрувати в управлінські рішення залежності від екосистемних послуг, відстежувати та регулювати навантаження на екосистеми.

Розроблені тривірневі бізнес-моделі демонструють можливості переорієнтації деревообробних підприємств до продовження життєвого циклу продукції, наприклад, шляхом виробництва та продажу систем для «зеленого» будівництва з високою доданою вартістю. Така переорієнтація є практичною складовою реалізації принципів Індустрії 5.0 (Гайда, 2023) та концепції «від колиски до колиски» (Корнелюк, Павліха, 2023), а також відповідає ключовим вимогам The European Green Deal (European Commission, 2019) та EU Deforestation Regulation (European Union, 2023). Водночас варто враховувати висновки Xie et al. (2024) про «спадну віддачу» від надмірного нарощування лише показників рециклінгу (з 30% до 85% дають лише +2,2% скорочення емісій). Тобто, основні зусилля деревообробних підприємств повинні спрямовуватися на якість і довговічність вироблених продуктів, а не лише на кількісне перероблення відходів.

Поряд з цим, додатковим вектором розвитку бізнес-моделей деревообробних підприємств є диверсифікація продуктової лінійки через вико-

ристання недревних ресурсів лісу (наприклад, кори, листя, екстрактів) у фармацевтичних чи косметологічних цілях (Miassi & Dossa, 2024). У контексті циркулярної економіки ці матеріали відіграють ключову роль як відновлювані ресурси, створюючи додану вартість без збільшення навантаження на лісові екосистеми, що є критично важливим для повоєнного відновлення біорізноманіття України (А. Кучер, Л. Кучер, 2024).

Виявлена у дослідженні можливість скорочення екологічного сліду на 70-75% через заміщення біомаси відновлюваною електроенергією підкреслює важливу наукову дискусію щодо кліматичних компромісів. Хоча спалювання відходів розглядають як один із елементів «циркулярного» рішення, Plev et al. (2025) зазначають, що інтенсифікація використання біомаси для енергії часто вступає у конфлікт із цілями збереження біорізноманіття та вуглецевої нейтральності. Більше того, довготривале зберігання вуглецю у виробках із деревини забезпечує значно вищі кліматичні переваги порівняно з енергетичною утилізацією.

За даними Höglmeier et al. (2015a, b), каскадне використання деревини після споживання дає можливість забезпечити три потенційні переваги: збільшення утримання вуглецю в продуктах, уникнення додаткової лісозаготівлі та збільшення заміни продуктів і палива з високими викидами. Такі результати повністю підтверджуються бізнес-моделями, розробленими у цьому дослідженні для деревообробних підприємств, де пріоритет надано продукції з доданою вартістю. Необхідність такого підходу також підтверджується у дослідженні Челепіс, Соловій (2022), де увагу зосереджено на екосистемних послугах як чиннику, який уможливорює створення доданої вартості бізнес-моделі. Автори показують, що інтеграція екосистемних послуг створює передумови для вирішення проблем, пов'язаних зі станом довкілля та добробутом суспільства.

Висновки (Conclusion).

1. Інтеграція розроблених стратегій на рівні підприємств і галузі формує цілісну рамку трансформації лісового сектору України, орієнтовану на перехід від ресурсно-експлуатаційної моделі до моделі відновного та біорізноманіттево-позитивного розвитку, що відповідає європейським підходам до сталого управління природними ресурсами.

2. Незважаючи на обґрунтованість отриманих результатів, дослідження має певні обмеження, пов'язані зі складністю збору повних даних щодо ланцюгів постачання і непрямих екологічних впливів. Оцінювання впливу на біорізноманіття здійснювалося з використанням концептуальної

рамки (зокрема, ENCORE), що потребує подальшої трансформації у кількісні метрики стану біорізноманіття, придатних для інтеграції в національні системи обліку.

3. Перспективними напрямками подальших досліджень є розроблення кількісних моделей інтеграції природного капіталу у систему управлінського обліку деревообробних підприємств, оцінювання сліду біорізноманіття продукції, а також дослідження ролі цифрових технологій у забезпеченні відстеження та циркулярності ланцюгів постачання деревообробних підприємств. Окремим вектором дослідження залишається розроблення стратегії переходу на циркулярні принципи економіки, зміна економічної моделі з лінійної на циркулярну. Хоча на сьогодні елементи такої стратегії відображені в окремих нормативних документах, згаданих публікаціях, однак вони

ще не стали платформою процесу прийняття усіх бізнес-рішень на засадах сталого розвитку.

Подяка (Acknowledgments).

Дослідження виконано у рамках проекту, що фінансується ЄС – проект “CircHive” (Project 101082081 – CircHive) «Розробка та пілотування слідів біорізноманіття та обліку природного капіталу через «вулик» галузевих центрів для сталого переходу до циркулярної біоекономіки ЄС», що виконується у рамках міжнародної програми «Горизонт Європа» (Horizon Europe. Topic HORIZON-CL6-2022-BIODIV-01-04 (IA). Natural capital accounting: Measuring the biodiversity footprint of products & organisation)

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)

- Chelepis, T. O., & Solovii, I. P. (2022). Business models of forest management based on ecosystem service provision: analysis of innovative approaches. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 32(3), 43–48. <https://doi.org/10.36930/40320307> [Челепіс, Т. О., Соловій, І. П. (2022). Бізнес-моделі ведення лісового господарства на основі надання послуг екосистем: аналіз інноваційних підходів. *Науковий вісник НЛТУ України*, 32(3), 43–48] (in Ukrainian)
- Convention on Biological Diversity. (2022). *Kunming-Montreal Global Biodiversity Framework*. Montreal: CBD Secretariat. <https://www.cbd.int/gbif/>
- Drebot, O. I., Mishenin, Ye. V., Shershun, M. Kh., Sakharnatska, L. I., & Botsula, O. I. (2025). Circular economy in the context of the ecological and economic mechanism of integrated use of forest resource potential. *Balanced Nature Using*, 2, 5–10. <https://doi.org/10.33730/2310-4678.2.2025.337133> [Дребот, О. І., Мішенін, Є. В., Шершун, М. Х., Сахарнацька, Л. І., Боцула, О. І. (2025). Циркулярна економіка в контексті еколого-економічного механізму комплексного використання лісоресурсного потенціалу. *Збалансоване природокористування*, 2, 5–10] (in Ukrainian)
- Dynka, P. K., Solovii, I. P., & Hohol, T. M. (2025). Socio-ecological and economic aspects of using forest resources for energy. *Academic Visions*, 39, 1–11. <https://doi.org/10.5281/zenodo.14761067> [Динька, П. К., Соловій, І. П., Гоголь, Т. М. (2025). Соціо-еколого-економічні аспекти енергетичного використання лісових ресурсів. *Академічні візії*, 39, 1–11] (in Ukrainian)
- European Commission. (2019). *The European Green Deal*. COM(2019) 640 final. Retrieved from https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en
- European Parliament & Council of the European Union. (2023). *Directive (EU) 2023/2413 of the European Parliament and of the Council of 18 October 2023 amending Directive (EU) 2018/2001, Regulation (EU) 2018/1999 and Directive 98/70/EC as regards the promotion of energy from renewable sources, and repealing Council Directive (EU) 2015/652*. Official Journal of the European Union. <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2023/2413/oj>
- European Parliament & Council of the European Union. (2023). *Regulation (EU) 2023/1115 of the European Parliament and of the Council of 31 May 2023 on the making available on the Union market and the export from the Union of certain commodities and products associated with deforestation and forest degradation and repealing Regulation (EU) No 995/2010*. Official Journal of the European Union. <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2023/1115/oj>
- Gaida, S. V. (2023). State and analysis of the dynamics indicators of the production volume of the woodworking and furniture industry. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry*, 49, 4–19. <https://doi.org/10.36930/42234901> [Гайда, С. В. (2023). Стан та аналіз динаміки показників обсягів випуску продукції деревообробної та

- меблевої галузі. *Лісове господарство, лісова, паперова і деревообробна промисловість*, 49, 4–19] (in Ukrainian)
- Gaida, S. V. (2024). Analysis of the trend of the main indicators of the wood processing industry in the context of the circular economy. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry*, 50, 4–15. <https://doi.org/10.36930/42245001> [Гайда, С. В. (2024). Аналіз тенденції основних показників деревоино-заготовчої галузі в контексті циркулярної економіки. *Лісове госп-во, лісова, паперова і деревообробна промисловість*, 50, 4–15] (in Ukrainian)
- Gaida, S. V., & Kyanka, V. V. (2025). Formation of processing pathways for wood residues in the forest sector. In *Forestry Education and Science: Current Challenges and Development Prospects: proceedings of the 75th Scientific and Technical Conference of Academic Staff, Researchers, Doctoral and Postgraduate Students of the Ukrainian National Forestry University*. Lviv, December 2, 2025. Lviv: Ukrainian National Forestry University. [Гайда, С. В., Киянка, В. В. (2025). Формування напрямків перероблення деревинних залишків лісового сектору. *Лісотехнічна освіта і наука: виклики сьогодення та перспективи розвитку: матеріали 75-ї наук.-техн. конф. професорсько-викладацького складу, наукових працівників, докторантів та аспірантів НЛТУ України, м. Львів, 2 грудня 2025 р. Львів: НЛТУ України*] (in Ukrainian)
- Haines-Young, R., & Potschin, M. (2023). *Common International Classification of Ecosystem Services (CICES) V5.2: Guidance on the Application of the Revised Structure*. European Environment Agency. Retrieved from <https://cices.eu/>
- Höglmeier, K., Steubing, B., Weber-Blaschke, G., & Richter, K. (2015a). LCA-based optimization of wood utilization under special consideration of a cascading use of wood. *Journal of Environmental Management*, 152, 158–170. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.01.018>
- Höglmeier, K., Weber-Blaschke, G., & Richter, K. (2015b). Evaluation of wood cascading. In J. Dewulf, S. De Meester, & R. A. F. Alvarenga (Eds.), *Sustainability assessment of renewables-based products* (pp. 335–346). Chichester, UK: John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9781118933916.ch22>
- Iliev, B., Bentsen, N. S., Brownell, H., Droste, N., D'Amato, D., Arto, I., May, W., & Thomsen, M. (2025). A conceptual framework for assessing pathways towards climate neutrality and biodiversity conservation in a circular forest-based economy. *Ecological Economics*, 238, 108749. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2025.108749>
- Kiyko, O. A., Ilkiv, M. M., Pelyukh, O. R., Solovii, I. P., Chelepis, T. O., Lavnyy, V. V., & Lutsenko, A. O. (2025). Ecological footprint from woodworking enterprise activities: impact assessment and minimization pathways. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 35(1), 68–75. [Кійко, О. А., Ільків, М. М., Пелюх, О. Р., Соловій, І. П., Челепіс, Т. О., Лавний, В. В., Луценко, А. О. (2025). Екологічний слід від діяльності деревообробного підприємства: оцінювання впливу та шляхи мінімізації. *Науковий вісник НЛТУ України*, 35(1), 68–75] (in Ukrainian)
- Korneliuk, O. A. (2024). Directions of circular economy implementation in the wood processing industry in the context of sustainable development. *Business Navigator*, 1(74), 191–197. <https://doi.org/10.32782/business-navigator.74-32> [Корнелюк, О. А. (2024). Напрямки впровадження циркулярної економіки в деревообробній промисловості в контексті сталого розвитку. *Бізнес-навігатор*, 1(74), 191–197] (in Ukrainian)
- Korneliuk, O., & Pavlikha, N. (2023). Conceptual foundations of circular economy development. *International Relations, Public Communications and Regional Studies*, 3, 303–318. <https://doi.org/10.29038/2524-2679-2023-03-303-318> [Корнелюк, О., Павліха, Н. (2023). Концептуальні засади розвитку циркулярної економіки. *Міжнародні відносини, суспільні комунікації та регіональні студії*, 3, 303–318] (in Ukrainian)
- Kucher, A., & Kucher, L. (2024). Business models for sustainable development: Global trends in publication activity. In *Business Models for Sustainable Development: Challenges and Digital Transformation: proceedings of the International Scientific and Practical Conference*, 47–49. Kharkiv, February 15–16, 2024. Kharkiv: V. N. Karazin Kharkiv National University. [Кучер, А., Кучер, Л. (2024). Бізнес-моделі для сталого розвитку: глобальні тенденції публікаційної активності. *Бізнес-моделі для сталого розвитку: виклики та цифрова трансформація: матеріали Міжнар. наук.-практ. конф.*, 47–49. м. Харків, 15–16 лютого 2024 р. Харків: ХНУ ім. В. Н. Каразіна.] (in Ukrainian)
- Kyrylenko, Y., Pelyukh, O., Parpan, T., Gudyma, V., & Holubchak, O. (2024). Assessment of ecosystem services of recreational and health-improving forests in Ivano-Frankivsk region.

- Ukrainian Journal of Forest and Wood Science*, 15(3), 61–81. <https://doi.org/10.31548/forest/3.2024.61>
- Miassi, Y. E., & Dossa, K. F. (2024). Circular economy initiatives for forest-based bioeconomy: Harnessing the potential of non-wood biomaterials. *Waste Management Bulletin*, 2, 270–278. <https://doi.org/10.1016/j.wmb.2024.05.006>
- Myronets, M. A. (2025). Impact of martial law on entrepreneurial activity and development of entrepreneurial potential in the forest sector. *Bulletin of National University of Water and Environmental Engineering, Economic Sciences Series*, 3(111). <https://doi.org/10.31713/ve3202515> [Миронець, М. А. (2025). Вплив воєнного стану на підприємницьку активність та розвиток підприємницького потенціалу лісового сектору. *Вісник НУВГП, серія «Економічні науки»*, 3(111)] (in Ukrainian)
- Nevar, O. V. (2023). Theoretical foundations of sustainable development of the woodworking industry. *Economic Space*, 188, 5–10. <https://doi.org/10.32782/2224-6282/188-1> [Невар, О. В. (2023). Теоретичні основи сталого розвитку деревообробної промисловості. *Економічний простір*, 188, 5–10] (in Ukrainian)
- Pavlikha, N., & Korneliuk, O. (2022). World experience of circular economy implementation and prospects for Ukraine. In *Economic, social and legal aspects of enterprise management in the context of political and economic crisis* (pp. 155–168). Poznań. <https://evnuir.vnu.edu.ua/handle/123456789/22295>
- Pelyukh, O., Solovii, I., Kiyko, O., Ilkiv, M., Chelepis, T., & Lavnyy, V. (2023). Biodiversity footprint of the product: theory and methodology of calculation. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 25, 156–166. <https://doi.org/10.15421/412313> [Пелюх, О., Соловій, І., Кійко, О., Ільків, М., Челепіс, Т., Лавний, В. (2023). Слід біорізноманіття продукту: теорія і методологія розрахунку. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*, 25, 156–166] (in Ukrainian)
- Pelyukh, A. O., Ilkiv, M., Kiyko, O., Solovii, I., Chelepis, T., & Lavnyy, V. (2025). Ecological footprint of wood-based products in the Ukrainian Carpathians region. *Drewno. Prace Naukowe. Doniesienia. Komunikaty*, 68(215), 1–15. <https://doi.org/10.53502/wood-196630>
- Reid, W. V., Mooney, H. A., Cropper, A., Capistrano, D., Carpenter, S. R., Chopra, K., ... Shidong, Z. (2005). *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Washington, DC: Island Press. Retrieved from <https://www.millenniumassessment.org/documents/document.356.aspx.pdf>
- Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Chapin, F. S., Lambin, E. F., ... Jonathan, A. (2009). A safe operating space for humanity. *Nature*, 461, 472–475. <https://doi.org/10.1038/461472a>
- Solovii, I. P., Kiyko, O. A., Lavnyy, V. V., Bukhaneych, I. I., Pelyukh, O. R., Ilkiv, M. M., ... Lutsenko, A. O. (2024). Formation of a business model oriented toward sustainability planning tools for forest sector enterprises. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 27, 155–167. <https://doi.org/10.15421/412424> [Соловій, І. П., Кійко, О. А., Лавний, В. В., Буханевич, І. І., Пелюх, О. Р., Ільків, М. М., ... Луценко, А. О. (2024). Формування бізнес-моделі, орієнтованої на планування сталості підприємств лісового сектору: інструменти. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*, 27, 155–167] (in Ukrainian)
- Solovii, I., Kiyko, O., Ilkiv, M., Chelepis, T., Pelyukh, O., & Lavnyy, V. (2024). Assessment of the furniture board ecological footprint: Case study of a woodworking enterprise in the Carpathian region of Ukraine. *Bulletin of the Transilvania University of Brasov. Series II: Forestry, Wood Industry, Agricultural Food Engineering*, 17(66), 1. <https://doi.org/10.31926/but.fwiafe.2024.17.66.1.6>
- World Economic Forum. (2024). *The Global Risks Report 2024*. Retrieved from <https://www.weforum.org/publications/global-risks-report-2024/>
- Xie, S. H., Kurz, W. A., Smyth, C., Xu, Z., & Roeser, D. (2024). Forest products circular economy in an export-focused jurisdiction: Can it fill the emission reduction gap *Cleaner and Circular Bioeconomy*, 8, 100096. <https://doi.org/10.1016/j.clcb.2024.100096>

Integrated approach to the circular transformation of woodworking enterprises in the forest sector of the economy

O. Pelyukh¹, O. Kiyko², I. Soloviy³, M. Ilkiv⁴, V. Lavnyy⁵, D. Savka⁶, A. Lutsenko⁷, N. Chopenko⁸, O. Yarish⁹

The circular transformation of woodworking enterprises is a strategic priority for ensuring the sustainable development of Ukraine's forest sector, particularly in the context of the urgent need for "green" post-war recovery and European integration. It is noted that the transformation of the sector has become especially relevant due to the consequences of military aggression, including large-scale forest damage, loss of forest resources due to landmines, and disruptions to logistics chains. The aim of the study is to justify an integrated approach to assessing the ecological impact of woodworking enterprises and their products on the environment, developing sustainability-oriented business models and integrating biodiversity conservation and natural capital principles into the strategic development of woodworking enterprises and the forest sector of Ukraine as a whole, based on the results of the HORIZON Europe CircHive project. The study's results demonstrated that the ecological

footprint of woodworking enterprises in the Ukrainian Carpathians is mainly driven by energy-intensive technological processes, particularly wood drying, whereas the direct impacts of primary forest use and transportation are significantly lower. The findings also showed that the use of alternative energy sources and the implementation of circular approaches can substantially reduce the ecological footprint of production and improve resource-use efficiency. The application of the ENCORE conceptual framework confirmed the high dependence of woodworking enterprises on natural capital and demonstrated that biodiversity degradation directly increases the operational and economic risks of production systems. Based on the integration of ecological footprint assessment results, analyses of dependencies on natural capital, and empirical data, three-level sustainable business models were developed to increase product added value, promote circular resource use, and implement climate-adaptive management approaches. At the macro level, the

¹ *Oksana Pelyukh* – PhD, Assistant of the Department of Economics, Tourism and Recreation. Ukrainian National Forestry University, 103 General Chuprynka St., Lviv, 79057, Ukraine. Postdoctoral Researcher, Social-Ecological Systems Analysis Lab, University of Lodz. P.O.W. St., 3/5, Łódź, 90-255, Poland. E-mail: pelyukh.o@nltu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1889-3623>

² *Orest Kiyko* – Full Member of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, Doctor of Engineering Sciences, Professor at the Department of Furniture Production Techniques and Wood Products Technology. Ukrainian National Forestry University, 103 General Chuprynka St., Lviv, 79057, Ukraine. E-mail: orest.kiyko@nltu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5504-0278>

³ *Ihor Soloviy* – Full Member of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, Vice-president of the Ukrainian Forestry Academy of Sciences, Doctor of Economic Sciences, Professor of Department of Economics, Tourism and Recreation. Ukrainian National Forestry University, 103 General Chuprynka St., Lviv, 79057, Ukraine. E-mail: soloviy@yahoo.co.uk ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5885-6264>

⁴ *Mykhailo Ilkiv* – Assistant of the Department of Furniture Production Techniques and Wood Products Technology. Ukrainian National Forestry University, 103 General Chuprynka St., Lviv, 79057, Ukraine. E-mail: mykhailo.ilxiv@nltu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-1630-9974>

⁵ *Vasyl Lavnyy* – Full Member of the Forestry Academy of Sciences 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>

⁶ *Dmytro Savka* – PhD Student of the Department of Environmental and Wood Protection Technologies and Life Safety. Ukrainian National Forestry University, 103 General Chuprynky St., Lviv, 79057, Ukraine. E-mail: savka.d@nltu.lviv.ua ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-8060-5470>

⁷ *Andriy Lutsenko* – PhD Student of the Department of Furniture Production Techniques and Wood Products Technology. Ukrainian National Forestry University, 103 General Chuprynky St., Lviv, 79057, Ukraine. E-mail: lutsenko.a@nltu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-9628-1279>

⁸ *Nataliya Chopenko* – Assistant of the Department of Furniture Production Techniques and Wood Products Technology. Ukrainian National Forestry University, 103 General Chuprynky St., Lviv, 79057, Ukraine. E-mail: nataliya.chopenko@nltu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-2170-5501>

⁹ *Oksana Yarish* – PhD, Assistant of the Department of Furniture Production Techniques and Wood Products Technology. Ukrainian National Forestry University, 103 General Chuprynky St., Lviv, 79057, Ukraine. E-mail: oksana.yarish@nltu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-4844-2320>

“National Strategy for Sustainable Development of the Forest Sector” was substantiated, integrating economic, environmental, and social objectives while strengthening the orientation toward long-term sustainability. The practical significance of the results lies in the possibility of applying the proposed approach to developing sustainable development strategies for woodworking enterprises, improving environmental management, and

increasing the efficiency of forest resource use. The implementation of the proposed solutions will contribute to the development of the circular economy, reduction of negative ecological impacts, and ensuring the long-term competitiveness of the forest sector of the economy.

Key words: biodiversity; ecological footprint; natural capital; business model; strategy; strategic management.