



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

<http://fasu.nltu.edu.ua>
<https://doi.org/10.36930/412537>
Article received 2025.01.21
Article revised 2025.08.05
Article accepted 2025.09.18
Article published 2026.03.17

ISSN 1991-606X print
ISSN 2616-5015 online
@ ✉ Correspondence author
Serhiy Gayda
serhiy.hayda@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 674-419.33:674.8

Вплив властивостей складових елементів із вживаної деревини на характеристики міцності комбінованих столярних плит

С.В. Гайда¹, Л.Е. Лесів²

Представлено результати дослідження впливу складових елементів (рейок) із вживаної деревини на фізико-механічні характеристики комбінованих столярних плит. Актуальність роботи зумовлена потребою у впровадженні принципів циркулярної економіки в деревообробну промисловість, де вживана деревина розглядається як повноцінна вторинна сировина. Об'єктом дослідження є щитові плити з внутрішнім шаром із рейок різної ширини, порід і матеріалів (масивна деревина, деревинно-стружкові рейки), личковані фанерою з обох боків. Метою дослідження є встановлення впливу параметрів рейок (ширина, порода, тип матеріалу, частка масиву) на межу міцності при статичному згині та при сколюванні вздовж волокон. Експериментальні плити розміром 500 × 500 × 22 мм виготовляли із вживаної деревини сосни і бука та комбінували з рейками з деревинно-стружкових плит. Випробування проводили відповідно до стандартів EN 310 та EN 205. Встановлено, що збільшення ширини рейок із 30 до 60 мм зменшує міцність при згині на 10-11%, а чергування порід (сосна – бук) підвищує її на 8%. Додавання 40% рейок з ДСП забезпечує зниження питомої витрати масиву до 40% за прийнятими значеннями міцності ($\sigma_{32} = 33,8$ МПа, $\tau_{ск} = 5,3$ МПа). Розроблено емпіричні моделі, які описують залежність міцності столярних плит від ширини рейок, щільності та частки масивної деревини: $\sigma_{32} = 12,7 + 0,028\rho + 0,19t - 0,11b$, ($R^2 = 0,93$). Оптимальною визначено структуру з рейками завширшки 30-40 мм, чергуванням рейок сос-

¹ Гайда Сергій Володимирович – академік Лісівничої академії наук України, доктор технічних наук, професор кафедри технологій меблів і виробів з деревини. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. E-mail: serhiy.hayda@nltu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7468-5661>

² Лесів Лев Едуардович – аспірант кафедри технологій меблів і виробів з деревини. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. E-mail: lev.lesiv@nltu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-3959-5447>

ни та бука й часткою масиву не менше 60%. Показано, що міцність плит із вживаної деревини становить 89-94% від показників плит із первинної деревини, що підтверджує можливість їх промислового використання. Отримані результати мають практичне значення для розроблення ресурсоефективних технологій виробництва комбінованих столярних матеріалів і можуть бути використані у виробництві меблів, міжкімнатних дверей та внутрішніх конструкцій.

Ключові слова: властивості деревини; конструкції щитів; рейки; міцність при згині; міцність при сколюванні; циркулярна економіка; повторне використання; ПВА-клей; фанера; масив деревини; деревинно-стружкові плити.

Вступ (Introduction).

У контексті сучасних викликів сталого розвитку деревообробної промисловості одним із пріоритетних завдань є підвищення ефективності використання деревинних ресурсів за рахунок повторного залучення у виробничий цикл деревини, що втратила первинні експлуатаційні властивості, але зберегла достатні структурно-механічні показники. Такий підхід відповідає принципам циркулярної економіки (Ratajczak, & Szostak, 2003; European Commission, 2015; Bezama, 2016; Blomsma, & Brennan, 2017; Murray, Skene, & Haynes, 2017; Tuomasjukka, Athanassiadis, & Vis, 2017; Reike, Vermeulen Walter, & Witjes, 2018; Barbu, 2022; CircHive, 2022; Circularity Gap Report, 2022; Гайда, 2023), де вживана деревина (ВЖД) розглядається не як відходи, а як вторинна сировина з високим потенціалом повторного використання (Werner et al., 2010; Білий, Гайда, 2016; Suominen et al., 2017; Медвідь, 2018, 2021; Гайда, Кійко, 2021). Серед можливих напрямів такої переробки особливе місце посідає виготовлення комбінованих столярних плит (Білий, Гайда, 2016; Лесів, 2020; Zając, 2023; Лесів, Гайда, 2023; Медвідь, 2023; Лесів, Гайда, Салапак, 2024) – щитових матеріалів, внутрішній шар яких формується з рейок різного походження (масивна деревина, деревинно-стружкові (ДСП) рейки, елементи різних порід тощо). Такий підхід дає змогу не лише мінімізувати втрати сировини (Frühwald, 2019; Titus et al., 2021; Гайда, 2023; Гайда, Медвідь, 2024, 2025), але й досягти необхідних фізико-механічних характеристик (Лесів, Гайда, Салапак, 2024; Лесів, 2025), забезпечуючи оптимальний баланс між міцністю, стабільністю розмірів і масою виробу.

Розвиток технологій вторинного використання деревини (Čunderlík, 2017; Risse, 2020; Гайда, 2023) та створення комбінованих плит на її основі є частиною глобальної тенденції переходу до циркулярної економіки та ресурсоефективного виробництва. За даними Європейської федерації деревообробних підприємств, щороку понад 40 млн тонн деревини у ЄС втрачають експлуатаційну придатність, але до 60% цього ресурсу потенційно може бути повторно залуче-

но для виготовлення нових матеріалів (European Commission, 2015; Lagaña, & Lanvin, 2018; Circularity Gap Report, 2022; CircHive, 2022).

У працях Frühwald (2019) та Risse (2020) досліджено можливості повторного використання конструкційної деревини з демонтажу будівель. Автори зазначають, що навіть після 30-40 років експлуатації деревина зберігає до 80-90% своєї початкової міцності за умови правильної первинної обробки – очищення, сортування, видалення залишків лаків і цвяхів. Krč, & Hrázský (2021) експериментально підтвердили, що міцність деревини, повторно використаної після демонтажу покрівельних конструкцій, зменшується в середньому лише на 7-12% порівняно з новою деревиною. Ці результати відкривають широкі можливості для вторинного застосування в несучих елементах або внутрішніх шарах композиційних плит. В Україні подібні дослідження активно проводять в Національному лісотехнічному університеті України. У працях низки авторів (Лесів, 2020; Гайда, Кійко, 2021; Гайда, Медвідь, 2024) встановлено закономірності зміни фізико-механічних показників деревини після повторного використання, а в інших роботах (Білий, Гайда, 2016; Подібка, Кійко, 2019; Лесів, Гайда, Салапак, 2024) перевірено формостійкість щитових клеєних конструкцій із вживаної деревини.

Комбіновані столярні плити належать до класу рейкових щитів, в яких внутрішній шар формується із масивних елементів, склеєних між собою. За стандартом EN 13353:2019, такі вироби належать до категорії щитових матеріалів, які можуть бути одно- або багат шаровими. У роботах Krzosek (2022) і Zając (2023) показано, що комбінування рейок різних порід (наприклад, сосна – бук або ялина – дуб) дає можливість регулювати жорсткість і міцність щита без значного збільшення маси виробу. Автори відзначають, що оптимальне співвідношення м'яких і твердих порід у внутрішньому шарі становить 60:40.

Під час дослідження впливу ширини рейок на жорсткість панелей (Čunderlík, 2017; Гайда, Медвідь, 2024) встановлено, що за ширини рейок понад 60 мм спостерігається зростання внутрішніх

напружень і зниження міцності на 8-10%, що пояснюється нерівномірністю розподілу деформацій при згині. Вивчаючи поєднання масивної деревини з деревинно-стружковими вставками Lagaña, & Lanvin (2018) встановили, що введення 30-40% рейок із ДСП у середній шар дає змогу зменшити витрати масиву майже вдвічі за зниження міцності лише на 12-15%. Цей ефект є особливо цінним для економії високоякісної деревини.

Для оцінювання міцності комбінованих плит найбільш інформативними є межа міцності при статичному згині (за EN 310:2013) та межа міцності при сколюванні вздовж волокон (за EN 205:2001), які характеризують роботу щита в умовах навантажень, типових для меблевих і столярних виробів (Подібка, Кійко, 2019; Dukarska, 2020; Krč, & Hrázský, 2021; Krzosek, 2022; Lee, & Kim, 2021; Луценко, 2025). Зокрема Dukarska (2020) зазначає, що комбіновані плити з переробленої деревини мають коефіцієнт варіації міцності, вищий на 10-15% через неоднорідність структури, однак середні значення залишаються у межах норми для несучих елементів класу EN 13353:219 SWP/2. Для підвищення однорідності структури деякі дослідники (Lee, & Kim, 2021) пропонують сортувати рейки за щільністю (ρ), вологістю (W) та модулем пружності (E), що дає змогу зменшити розкид показників міцності до рівня 5-7%. Також деякі науковці вважають доцільним сортування за нахилом річних кілець у перерізі рейок, що актуально для забезпечення формостійкості (Білий, Гайда, 2016; Подібка, Кійко, 2019; Гайда, Кійко, 2021; Гайда, Медвідь, 2024).

Результати досліджень (Лесів та ін., 2024) щодо застосування ВЖД у столярно-будівельних виробках показали, що навіть деревина після тривалого використання залишається придатною для роботи при розрахункових навантаженнях волокна, за умови збереження цілісності міжтканинних зв'язків. Gayda, & Kiyko (2021), Медвідь (2021) підтверджують, що повторно використана деревина з меблевих виробів може бути успішно застосована у виробництві комбінованих плит після механічного очищення та калібрування.

Аналіз літературних джерел підтверджує, що більшість досліджень спрямована на загальні питання повторного використання деревини або оцінювання фізико-механічних властивостей вторинних матеріалів, тоді як закономірності впливу комбінації рейок різних типів, ширини та порід на сумарну міцність комбінованих плит залишаються недостатньо дослідженими. Недостатньо також систематизовано вплив структурної неоднорідності внутрішнього шару (чергування матеріалів, наявність стиків, змінна щільність) на величину межі міцності при згині та

сколюванні вздовж волокон. Саме ці питання є центральними для висвітлення у цій роботі.

Таким чином, вторинна деревина є перспективною сировиною для виготовлення комбінованих плит, оскільки зберігає значну частку механічних властивостей. Попри наявність окремих публікацій щодо повторного використання деревини у виробництві плитних матеріалів, недостатньо вивчено вплив поєднання рейок різних порід, ширини елементів та співвідношення між масивом і вторинним матеріалом на межу міцності при статичному згині та межу міцності при сколюванні вздовж волокон. Відсутність таких даних обмежує можливість інженерного проектування комбінованих плит із прогнозованими властивостями. Основними чинниками, що визначають міцність комбінованих плит, є ширина рейок, порода деревини, співвідношення типів матеріалу (масив / ДСП) та якість клеєного з'єднання. Існує потреба у розробленні аналітичних залежностей між цими параметрами та міцністю при згині і сколюванні, що стане підґрунтям для інженерного проектування таких плит. Саме це завдання визначає наукову новизну і мету дослідження у межах цієї статті.

Актуальність дослідження полягає в тому, що в умовах зростання дефіциту високоякісної деревини питання раціонального використання деревинних ресурсів набуває особливої ваги. За результатами досліджень (Медвідь, 2018, 2021; Гайда, 2023; Лесів, Гайда, 2023), до 30% деревинних виробів після завершення терміну експлуатації можуть бути повторно використані для виробництва нових матеріалів. В Україні ж потенціал повторного використання деревини залишається реалізованим лише частково, що зумовлює актуальність експериментальних робіт у цьому напрямі. Використання рейок із ВЖД (отриманих із дахових конструкцій, меблів, піддонів, тари тощо) дає змогу створювати комбіновані плити, фізико-механічні характеристики яких можуть бути близькими до плит із первинної деревини за належної технологічної підготовки. Такий підхід відкриває перспективи для формування нової категорії екологічно орієнтованих столярних матеріалів, що поєднують властивості масиву й деревинних композитів.

Мета дослідження – встановити закономірності впливу складових елементів (рейок) із ВЖД на фізико-механічні характеристики комбінованих столярних плит, виготовлених за лабораторною технологією, та розробити аналітичну модель прогнозування їх міцності залежно від структури рейкового набору.

Практичне значення роботи полягає у тому, що результати дослідження можуть бути використані у процесі розроблення технологій вторинно-

го використання деревини у виробництві столярних і меблевих матеріалів; для оптимізації структури рейкових щитів у лабораторному та промисловому виготовленні комбінованих плит; у навчальному процесі спеціальностей G14 «Деревообробні та меблеві технології» і G19 «Будівництво та цивільна інженерія» з метою формування навичок розрахунку фізико-механічних властивостей деревинних композиційних матеріалів.

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

Об'єкт дослідження – комбіновані столярні плити, сформовані з рейок із вживаної деревини різних порід і типів матеріалів. *Предмет дослідження* – закономірності впливу геометричних і матеріальних параметрів рейок (порода, ширина, тип матеріалу, поєднання) на фізико-механічні характеристики плит – зокрема, межу міцності при статичному згині та сколюванні вздовж волокон.

Методологія дослідження ґрунтується на принципах фізико-механічного аналізу композиційних матеріалів, стандартах EN 310:2013, EN 205:2001, EN 322:1993, а також положеннях теорії композитів щодо взаємодії шарів із різними модулями пружності. Для аналізу результатів застосовано метод дисперсійного аналізу (ANOVA) та багатофакторну регресію.

Для досліджень використовували деревину, отриману з демонтажу будівельних і столярних виробів, термін експлуатації яких становив 20-40 років. Основними джерелами були: дахові балки і

латування (сосна звичайна); меблеві щити (бук лісовий); тарно-піддонні елементи (ялина європейська). Після демонтажу деревину очищували від металевих елементів, фарб, клеїв і залишків покриттів механічним способом (шліфування, фрезерування). З неї нарізали рейки завтовшки 16 мм, завширшки 30-60 мм і завдовжки 500 мм. Для контрольних зразків використовували деревину сосни звичайної з вологістю 8-10%, заготовлену відповідно до вимог EN 13183-1:2014. Як додаткові матеріали використано: фанеру березову шліфовану завтовшки 3 мм (EN 636-2:2016) – для облицювання обох поверхонь комбінованої плити; деревинно-стружкові рейки (ДСП) (марка P2, EN 312:2010) – для варіантів із комбінованим набором; клейовий склад: ПВА дисперсійний, клас водостійкості D3 за EN 204:2016, густина 1,05 г/см³.

Для експериментів виготовляли комбіновані столярні плити розміром 500 × 500 × 22 мм, що відповідають габаритам робочої плити лабораторного пресу. Структура кожної плити складалася з: внутрішнього щита завтовшки 16 мм, сформованого із рейок різного типу; двох личкувальних шарів фанери завтовшки по 3 мм, наклеєних на обидві сторони щита. Внутрішній шар склеювали на шиповий стик у торцях рейок, а бокові з'єднання виконували методом «на гладку фугу» з нанесенням клею валиком (кількість клею – 180-200 г/м²). Було сформовано три серії комбінованих плит – по п'ять зразків у кожній (табл. 1).

Таблиця 1. Різновиди експериментальних комбінованих столярних плит
Table 1. Varieties of experimental composite blockboards

Тип плити	Матеріал рейок у внутрішньому щиті	Ширина рейок, мм	Опис структури
А (однорідна)	ВЖД сосни	30 / 40 / 60	Рейки з однієї породи різної ширини
В (змішана)	сосна + бук	40	Чергування рейок різних порід у співвідношенні 1:1
С (комбінована)	сосна (60%) + рейки з ДСП (40%)	40	Чергування масиву і деревинно-стружкових елементів

Кожен тип випробовували у п'яти повтореннях для забезпечення статистичної достовірності результатів.

Перед склеюванням усі рейки калібрували до номінальної товщини 16 мм, торцювали, а поверхню очищали від пилу. Вологість деревини контролювали електронним вологоміром GANN Hydromette HT-85T, забезпечуючи діапазон 8–12%. Клей наносили односторонньо рівномірним шаром, витримували відкрито впродовж 10 хв, після чого рейковий набір складали у пакет і пресували.

Склеювання виконували на лабораторному гідравлічному пресі Mod. LP-25, оснащеному нагрівальними плитами 500 × 500 мм. Режим пресування: температура плит – 110 ± 5°C; тиск – 0,8 ± 0,05 МПа; час пресування – 6 хв (за

товщини 22 мм); тиск холостого витримання – 0,3 МПа, 10 хв після пресування.

Після пресування плити кондиціонували у лабораторному середовищі (температура 20 ± 2°C, відносна вологість 65 ± 5%) впродовж 7 діб.

Із кожної плити вирізали зразки для випробувань для визначення: межі міцності при статичному згині – розміри 250 × 50 × 22 мм (EN 310:2013); межі міцності при сколюванні вздовж волокон – розміри 100 × 25 × 22 мм (EN 205:2001). Кількість зразків для кожного типу випробувань – не менше 10 одиниць. Випробування проводили на універсальній випробувальній машині Zwick/Roell Z010. Схема навантаження – триточковий згин з прольотом між опорами l = 200 мм, швидкість переміщення поперечини – 5 мм/хв.

Межу міцності при згині обчислювали за формулою: $\sigma_{zg} = (3P_{max}l)/(2bh^2)$, де P_{max} – максимальне навантаження, Н; l – проліт між опорами, мм; b – ширина зразка, мм; h – товщина зразка, мм.

Межу міцності при сколюванні визначали за формулою: $\tau = P_{max}/A$, де P_{max} – максимальне навантаження, Н; A – площа сколювання, мм².

Зразки приклеювали до дерев'яних колодок і випробовували за схемою зсуву при навантаженні по площині склеювання.

Результати обробляли методами дисперсійного аналізу (ANOVA) та багатофакторної регресії з використанням програмного забезпечення Statistica 13.5. Для кожної серії визначали: середнє значення ($\bar{x}$), середньоквадратичне відхилення (s), коефіцієнт варіації (Cv , %), довірчий інтервал ($\alpha = 0,05$). Отримані залежності між конструкційними параметрами рейкового шару (ширина, порода, матеріал) і показниками міцності узагальнювали у вигляді

емпіричних моделей. Для оцінювання результатів приймали такі орієнтовні рівні властивостей (за EN 13353:2019): межа міцності при згині – ≥ 30 МПа; межа міцності при сколюванні – ≥ 5 МПа. Ці критерії використовували для зіставлення результатів експериментальних комбінованих плит із нормативними вимогами до столярних матеріалів внутрішнього використання. Методика дослідження побудована таким чином, щоб кількісно оцінити вплив ширини рейок, породи та поєднання матеріалів на міцність комбінованих плит при згині та сколюванні, з урахуванням можливостей лабораторного обладнання та стандартів EN.

Результати (Results).

Для визначення впливу геометричних параметрів рейок здійснено випробування зразків типу А (вплив ширини рейок на міцність при статичному згині), виготовлених із ВЖД, при трьох ширинах рейок: 30, 40 та 60 мм та отримано значення випробувань, що наведені у табл. 2.

Таблиця 2. Результати випробувань зразків експериментальних комбінованих столярних плит

Table 2. Test results of samples of experimental composite blockboards

№ серії	Ширина рейки, мм	Межа міцності при згині, МПа ($\bar{x} \pm s$)	Коефіцієнт варіації, %	Відносне зниження міцності, %
A1	30	41,2 $\pm$ 2,9	7,1	–
A2	40	39,4 $\pm$ 3,1	7,9	–4,4
A3	60	36,7 $\pm$ 3,5	9,6	–10,9

Зі збільшенням ширини рейок від 30 до 60 мм міцність при статичному згині зменшилась на 10-11%, що пояснюється ростом нерівномірності напружень у клеєних зонах і більшою деформаційною неоднорідністю щита. Дисперсій-

ний аналіз підтвердив статистично значущий вплив ширини рейки ($p < 0,05$). Залежність описується апроксимаційною формулою: $\sigma_{zg} = 43,1 - 0,11b$, $R^2 = 0,94$, де b – середня ширина рейки, мм (рис. 1).

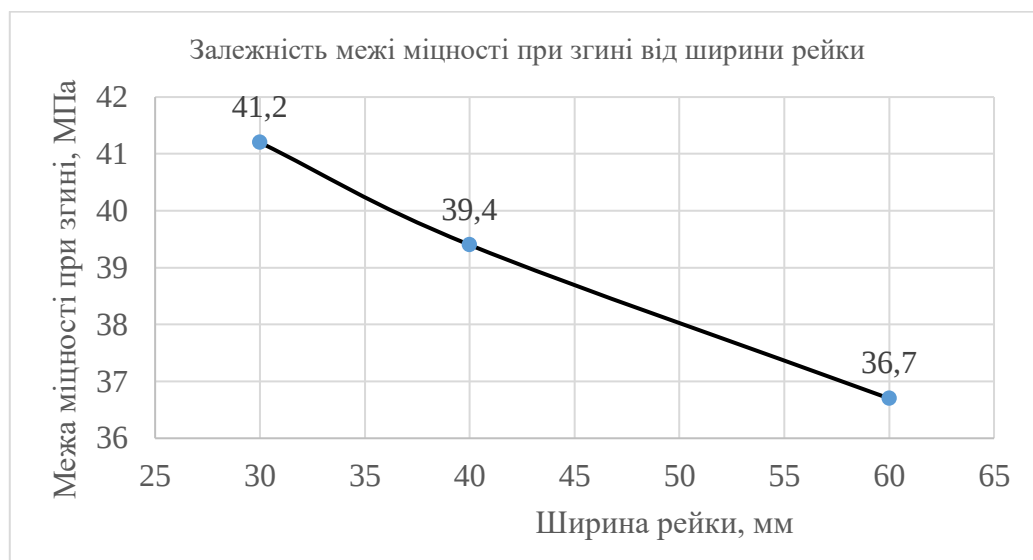


Рис. 1. Залежність межі міцності при згині від ширини рейок, де спостережено плавне зниження від 41 до 36 МПа при зростанні ширини з 30 до 60 мм

Fig. 1. Dependence of the bending strength on the width of the slats, where a smooth decrease from 41 to 36 MPa is observed with an increase in width from 30 to 60 mm

У зразках типу В (вплив комбінації порід деревини) внутрішній щит формували чергуванням рейок сосни та бука. Результати наведено у табл. 3.

Таблиця 3. Результати випробувань зразків експериментальних комбінованих столярних плит з чергуванням рейок сосни та бука

Table 3. Test results of samples of experimental composite blockboards with alternating pine and beech slats

Тип плити	Комбінація порід	σ_{zg} , МПа ($\bar{x} \pm s$)	$\tau_{ск}$, МПа ($\bar{x} \pm s$)	Відносна зміна σ_{zg} , %	Відносна зміна $\tau_{ск}$, %
А (сосна)	100% сосна	39,4 $\pm$ 3.1	6,1 $\pm$ 0.5	–	–
В (сосна–бук)	50% сосна + 50% бук	42,6 $\pm$ 3.4	5,8 $\pm$ 0.4	+8,1	–4,9

Отже, чергування порід позитивно вплинуло на міцність при згині (+8%), що пояснюється чергуванням зон з різною жорсткістю (модулем пружності). Однак міцність при сколюванні трохи знизилась (–5%), ймовірно через різну усушку порід і неоднакову адгезію клею.

Для плит типу С (вплив комбінування матеріалів [масив + ДСП]), де внутрішній шар складався з 60% рейок масиву сосни і 40% рейок з деревинно-стружкових плит (ДСП), отримано результати, наведені у табл. 4.

Таблиця 4. Результати випробувань зразків експериментальних комбінованих столярних плит з чергуванням рейок сосни та ДСП

Table 4. Test results of samples of experimental composite blockboards with alternating pine and particleboard slats

Тип плити	Склад щита	σ_{zg} , МПа	$\tau_{ск}$, МПа	Відносна зміна σ_{zg} , %	Відносна зміна $\tau_{ск}$, %
А (масив)	100% сосна	39,4	6,1	–	–
С (комбінована)	60% масив + 40% ДСП	33,8	5,3	–14,2	–13,1

Зменшення міцності при згині та сколюванні становить відповідно 14 і 13%, що зумовлено нижчою щільністю та структурною слабкістю деревинно-стружкових рейок. Попри це, отримані значення ($\sigma_{zg} = 33,8$ МПа, $\tau_{ск} = 5,3$ МПа)

відповідають вимогам EN 13353:2019 (клас SWP/2) для плит внутрішнього застосування. Для зіставлення оцінено дані експериментальних столярних плит із ВЖД з даними контрольних плит з первинної деревини сосни (табл. 5).

Таблиця 5. Результати порівняльного аналізу випробувань зразків експериментальних комбінованих столярних плит з різних матеріалів

Table 5. Results of comparative analysis of tests of samples of experimental composite blockboards made of different materials

Матеріал рейок	σ_{zg} , МПа	$\tau_{ск}$, МПа	Відносна міцність (до первинної деревини), %
Нова деревина	44,2	6,5	100
ВЖД (30–40 мм)	39,4	6,1	89–94
Комбінована (60% масив + 40% ДСП)	33,8	5,3	77–82

Таким чином, ВЖД забезпечує до 90% міцності плит із первинної деревини, що підтверджує доціль-

ність її вторинного використання у випадку правильного підбору структури та клеєвого режиму (рис. 2).

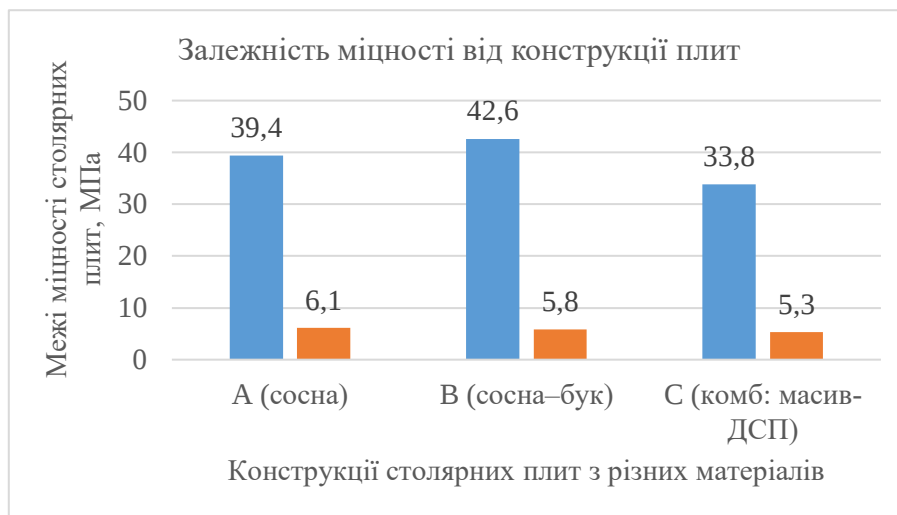


Рис. 2. Порівняння $\sigma_{зг}$ і $\tau_{ск}$ для трьох типів плит (A, B, C), де найвищі показники має плита B (змішана порода), а найнижчі – C (з ДСП)

Fig. 2. Comparison of σ_b and τ for three types of boards (A, B, C), where the highest indicators are for board B (mixed species), and the lowest ones are for board C (particleboard-based)

За результатами багатофакторного аналізу отримано регресійні рівняння (емпіричні залежності між параметрами рейок і міцністю) для прогнозування міцності комбінованих плит залежно від трьох основних чинників: ширини рейок (b), щільності матеріалу (ρ) та частки масивної деревини (m).

Отже, межа міцності при згині: $\sigma_{зг}=12,7+0,028\rho+0,19m-0,11b$, $R^2=0,93$; межа міцності при сколюванні: $\tau=0,85+0,005\rho+0,07m-0,012b$, $R^2=0,89$, де ρ – середня щільність матеріалу, кг/м^3 ; m – частка масивної деревини у складі внутрішнього шару, %; b – середня ширина рейки, мм.

Модель засвідчує, що найсуттєвіше на міцність впливають частка масивної деревини (m) та ширина рейок (b), тоді як щільність (ρ) має другорядний вплив у межах досліджуваних значень.

Аналіз результатів та узагальнення отриманих даних засвідчують, що ширина рейок істотно впливає на механічні показники. За ширини понад 50-60 мм спостережено помітне зниження міцності при згині через зростання деформаційної неоднорідності клеєного поля. Комбінування порід деревини (м'яких і твердих) дає змогу підвищити жорсткість без значного збільшення маси виробу. Поєднання масиву з деревинно-стружковими рейками дає змогу зменшити витрати цінної деревини на 30-40% при збереженні рівня міцності, достатнього для внутрішніх конструкцій (SWP/2). Математична модель підтверджує лінійно-негативну залежність міцності від ширини рейок і позитивний вплив частки масиву. Статистичні коефіцієнти варіації (7-10%) свідчать про однорідність отриманих результатів і коректність методики виготовлення лабораторних зразків. Таким чином,

отримані експериментальні дані доводять, що ВЖД є придатною для виробництва комбінованих столярних плит, а оптимальна структура внутрішнього щита – це рейки завширшки 30-40 мм із чергуванням порід (сосна – бук) або обмеженням (до 30-40%) вмістом ДСП-рейок.

Дискусія (Discussion).

Результати експериментів підтвердили, що ВЖД після відповідної підготовки зберігає високі фізико-механічні показники, що дає можливість використовувати її як повноцінний конструкційний матеріал у виробництві комбінованих столярних плит. Отримані значення межі міцності при статичному згині (36–42 МПа) та межі міцності при сколюванні (5,3–6,1 МПа) підтверджують можливість повторного використання вторинної деревини у щитових конструкціях внутрішнього призначення.

Отримані результати узгоджуються з висновками Krč, & Hrázský (2021), які вказують, що деревина з демонтажу втрачає не більше 10-15% своєї початкової міцності. Подібні тенденції відзначено й у роботах Frühwald (2019) та Dukarska (2020), де для композитів на основі вторинної деревини показано збереження 85-90% міцності порівняно з первинною сировиною.

Виявлене зниження міцності при згині на 10-11% за збільшення ширини рейок із 30 до 60 мм пояснюється нерівномірністю розподілу напружень у клеєному полі та наявністю міжрейкових стиків, які діють як зони локальних деформацій. Цей ефект добре відомий у теорії багатошарових плитних елементів і підтверджується результатами Čunderlík (2017), який спостерігав зниження жорсткості рейкових панелей при збільшенні ширини рейок понад 50 мм. Згідно з класичною моделлю згину

(EN 310:2013), максимальні напруження концентруються у крайніх волокнах. Для рейкових плит із широкими елементами виникає нерівномірний розподіл клейового шва за товщиною, що спричиняє мікрозсуви і, як наслідок, втрату ефективності передачі зусиль між рейками. Отже, оптимальна ширина рейок для лабораторних плит із вторинної деревини становить 30–40 мм, що підтверджено також емпіричною моделлю $\sigma_{gr} = 43,1 - 0,11b$.

Додавання рейок твердої породи (бук) у структуру соснового щита (тип В) підвищило межу міцності при згині на 8%, хоча водночас незначно зменшило міцність при сколюванні (–5%). Ця закономірність має компенсаційний характер: різниця в модулях пружності сосни ($E \approx 9,5$ ГПа) і бука ($E \approx 14$ ГПа) створює ефект чергування зон з різною деформаційною жорсткістю, що підвищує опір вигину, але може збільшувати напруження у клеєних швах. Подібні результати отримали Zajac (2023) та Krzosek (2022), які відзначили приріст міцності комбінованих панелей на 5–10% у випадку поєднання деревини м'яких і твердих порід. Отже, використання змішаних порід у рейкових щитах не лише можливе, але й доцільне для оптимізації міцності без суттєвого збільшення маси.

Результати експерименту для плит типу С показали, що включення до 40% рейок із ДСП у середній шар знижує міцність при згині на 14%, при сколюванні – на 13%. Незважаючи на це, такі значення залишаються у межах вимог EN 13353:2019 (SWP/2), що дає підставу рекомендувати подібну структуру для внутрішніх меблевих конструкцій. Зниження міцності пояснюється низькою когезійною міцністю ДСП ($\sigma_{gr} \approx 10\text{--}15$ МПа) та відмінністю у поведінці клеєного шва між деревинним масивом і пористою структурою плити. Проте досягнуте зменшення споживання деревного масиву на 30–40% є важливою перевагою з погляду ресурсозбереження. Схожі результати наведені Lagaña & Lanvin (2018), де зниження міцності становило 12–15%, що підтверджує адекватність отриманих у нашій роботі показників.

Порівняння показало, що комбіновані плити з ВЖД мають 89–94% міцності плит із первинної деревини, що є цілком задовільним показником для більшості конструкційних і меблевих виробів. Таке співвідношення підтверджує тезу, що ВЖД не втрачає базових міцнісних характеристик, якщо при її підготовці забезпечено висушування, очищення та калібрування рейок. Отже, з погляду інженерного розрахунку, допустимо використовувати коефіцієнт запасу міцності 0,9 для виробів із вторинної деревини – аналогічно до рекомендацій Krč, & Hrázský (2021).

Побудовані емпіричні моделі: $\sigma_{gr} = 12,7 + 0,028\rho + 0,19m - 0,11b$, $R^2 = 0,93$; $\tau = 0,85 + 0,005\rho + 0,07m - 0,012b$, $R^2 = 0,89$ демонструють високу кореляцію між конструкційними параметрами і міцністю. Позитивні коефіцієнти при ρ та m свідчать, що збільшення щільності матеріалу і частки масивної деревини позитивно впливають на обидва показники, тоді як коефіцієнти при b – від'ємні, що підтверджує негативний вплив збільшення ширини рейок. Рівень апроксимації (R^2 понад 0,9) вказує на високу достовірність моделі і можливість її застосування для прогнозування властивостей комбінованих плит у межах досліджуваних параметрів. Це відкриває перспективу подальшого моделювання структурних оптимумів (b , m , ρ) із застосуванням методів цифрового дизайну або скінченно-елементного аналізу.

Отримані результати мають важливе практичне значення для розроблення технологій вторинного використання деревини: ВЖД після очищення і калібрування можливо використовувати у виробництві рейкових плит завтовшки 22 мм, що відповідають нормативним вимогам до столярних матеріалів внутрішнього застосування. Оптимальна конструкція внутрішнього щита така: рейки завширшки 30–40 мм із чергуванням м'якої (сосна) і твердої (бук) порід; допустиме комбінування з ДСП – не більше ніж 40% за шириною набору при збереженні клеєвої водостійкості класу D₃. Використання ВЖД дає змогу зменшити витрати первинної сировини на 25–40% і знизити вуглецевий слід виробництва на 30% (за розрахунками на основі питомої енергоємності сушіння та розпилювання).

Коефіцієнти варіації ($C_v = 7\text{--}10\%$) свідчать про однорідність отриманих даних. Розбіжності в межах серій не перевищують допустимих меж для матеріалів природного походження ($C_v \leq 15\%$). Отже, отримані результати можна вважати статистично достовірними та репрезентативними для виробів подібної конструкції.

Наукове та прикладне узагальнення результатів досліджень полягає у тому, що головними чинниками, які визначають міцність комбінованих плит, є ширина рейок та співвідношення матеріалів у внутрішньому шарі. Отримані закономірності дають змогу прогнозувати міцність плит різного складу, що важливо для автоматизованого проектування (CAD/CAM) столярних виробів. Дослідження підтверджують ефективність використання рейок із ВЖД у виробництві комбінованих столярних плит.

Перспективи подальших досліджень з використання ВЖД полягають у вивченні впливу експлуатаційних чинників (зміни вологості, температури, циклічні навантаження) на дов-

говічність комбінованих плит із вторинної деревини з метою ширшого їх використання у виробничих цілях; в оптимізації клеєвих систем для дослідження поліуретанових і біоклеїв для підвищення екологічності та водостійкості з'єднань за повторного пресування; у дослідженні структурних дефектів у рейках ВЖД за допомогою ультразвукової діагностики для розроблення системи неруйнівного сортування перед склеюванням; у розробленні рекомендацій для виробництва комбінованих столярних плит у малих і середніх деревообробних підприємствах – із використанням ВЖД як компоненту “другої генерації”.

Висновки (Conclusions).

1. Встановлено кількісні залежності між шириною, видом та матеріалом рейок і фізико-механічними характеристиками столярних плит із ВЖД. Основними чинниками, що визначають міцність виробів, є геометричні параметри рейок (b), їхня щільність (ρ) і частка масивної деревини (m) у структурі щита.

2. Оптимальна структура внутрішнього щита визначена як набір рейок завширшки 30–40 мм, чергування м'якої (сосна) і твердої (бук) порід, за загальної частки масивної деревини не менше 60%. За таких умов плити забезпечують середню межу міцності при згині 41–42 МПа та при сколюванні ≈ 6 МПа, що відповідає вимогам EN 13353:2019, клас SWP/2.

3. Використання рейок із деревинно-стружкових плит (ДСП) у кількості до 40% у поєднанні з рейками масиву дає змогу знизити витрати первинної деревини до 30–40%, зберігаючи при цьому прийнятний рівень міцності ($\sigma_{zg} \approx 34$ МПа; $\tau_{ск} \approx 5,3$ МПа). Такий варіант робить технологію економічно та екологічно ефективною.

4. Для встановлення межі міцності при згині отримано рівняння: $\sigma_{zg} = 12,7 + 0,028\rho + 0,19m - 0,11b$, $R^2 = 0,93$, що може бути використано для прогнозування властивостей плит на етапі проєктування. Міцність плит із ВЖД становить у середньому 89–94% від міцності плит із первинної деревини, що підтверджує доцільність її повторного використання в конструкційних і меблевих матеріалах внутрішнього призначення.

5. Запропонована технологічна схема виготовлення комбінованих плит розміром $500 \times 500 \times 22$ мм із внутрішнім щитом 16 мм і личкуванням фанерою (3 мм) забезпечує однорідність властивостей, стабільність форми та високу якість поверхні. Отримані результати створюють наукове підґрунтя для розроблення ресурсоефективних технологій у деревообробній промисловості, що базуються на принципах повторного

використання матеріалів і скорочення відходів деревини.

6. Комбіновані плити на основі рейок із ВЖД мають високий потенціал для впровадження у виробництво як екологічно стійкий конструкційний матеріал. Встановлені закономірності можуть бути використані під час розроблення адаптивних інженерних моделей, що дасть змогу прогнозувати властивості плит залежно від складу і структури.

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)

- Barbu, M. C. (2022). Circular wood materials and the reuse potential of solid timber. *European Journal of Wood Products*, 80(3), 499–510. <https://doi.org/10.1007/s00107-022-01775-8>
- Bezama, A. (2016). Let us discuss how cascading can help implement the circular economy and the bioeconomy strategies. *Waste Management & Research*, 34(7), 593–594. doi.org/10.1177/0734242X16657973
- Bilyy, Ya. M., & Gayda, S. V. (2016). The investigation of the shape stability of glued panels made of post-consumer wood. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry*, 42, 69–79. <https://doi.org/10.36930/42164211> [Білий, Я. М., Гайда, С. В. (2016). Дослідження формостійкості клеєних щитів із ВЖД. *Лісове господарство, лісова, паперова і деревообробна промисловість*, 42, 69–79.] (in Ukrainian)
- Blomsma, F., & Brennan, G. (2017). The emergence of circular economy: A new framing around prolonging resource productivity. *Journal of Industrial Ecology*, 21, 603–614. doi.org/10.1111/jiec.12603
- CircHive. (2022). *Developing & piloting biodiversity footprinting & natural capital accounting via a “beehive” of sectoral hubs, for sustainable transition to a circular EU bioeconomy* [Project]. Project duration: December 1, 2022–November 30, 2027.
- Circle Economy. (2022). *Circularity Gap Report 2022: Five years of analysis*. [circularconomy. https://europa.eu/platform/sites/default/files/1_report_cgr_global_2022](https://europa.eu/platform/sites/default/files/1_report_cgr_global_2022)
- Čunderlík, I. (2017). Effect of slat width on the bending stiffness of glued panels. *Acta Facultatis Technicae*, 22(1), 45–52. <https://doi.org/10.5555/acta-2017-22-1-45>
- DIN Deutsches Institut für Normung. (2014). *Plywood—Part 2: Blockboard and laminboard for general use* (DIN 68725-2:2014-10). Beuth Verlag. (in German)
- Dukarska, D. (2020). Mechanical consistency of recycled wood-based composites. *BioResources*,

- 15(2), 2504–2520. <https://doi.org/10.15376/biores.15.2.2504-2520>
- European Commission. (2015). *Closing the loop: An action plan for the circular economy* (Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- European Committee for Standardization. (1993). *Wood-based panels—Determination of moisture content* (EN 322:1993). Brussels, Belgium: CEN. <https://standards.cen.eu/>
- European Committee for Standardization. (2001). *Adhesives—Wood adhesives for non-structural applications—Determination of tensile shear strength of lap joints* (EN 205:2001). Brussels, Belgium: CEN.
- European Committee for Standardization. (2010). *Particleboards—Specifications* (EN 312:2010). Brussels, Belgium: CEN.
- European Committee for Standardization. (2013). *Wood-based panels—Determination of modulus of elasticity in bending and bending strength* (EN 310:2013). Brussels, Belgium: CEN.
- European Committee for Standardization. (2014). *Moisture content of a piece of sawn timber—Part 1: Determination by oven dry method* (EN 13183-1:2014). Brussels, Belgium: CEN. <https://www.cen.eu/standards/>
- European Committee for Standardization. (2016). *Classification of thermoplastic wood adhesives for non-structural applications* (EN 204:2016). Brussels, Belgium: CEN.
- European Committee for Standardization. (2016). *Plywood—Specifications—Part 2: Requirements for plywood for use in humid conditions* (EN 636-2:2016). Brussels, Belgium: CEN.
- European Committee for Standardization. (2019). *Solid wood panels (SWP) for internal use—Requirements* (EN 13353:2019). Brussels, Belgium: CEN.
- Frühwald, A. (2019). Reclaimed timber for sustainable construction materials. *Holzforschung*, 73(5), 421–430. doi.org/10.1515/hf-2018-0201
- Gayda, S. V. (2023). Determination of the circularity indicator in the forest sector according to the principles of the circular economy. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry*, 49, 99–114. <https://doi.org/10.36930/42234908> [Гайда, С. В. (2023). Визначення показника циркулярності в лісовому секторі за принципами циркулярної економіки. *Лісове господарство, лісова, паперова і деревообробна промисловість*, 49, 99–114.] (in Ukrainian)
- Gayda, S. V., & Kiyko, O. A. (2021). Properties of used wood as a determining factor in the quality of furniture products. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 23, 152–162. <https://doi.org/10.15421/412135> [Гайда, С. В., Кійко, О. А. (2021). Властивості ВЖД як важливий чинник якості конструкційних матеріалів. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*, 23, 152–162.] (in Ukrainian)
- Gayda, S. V., & Medvid, L. V. (2024). Construction of the mathematical model of the strength of post-consumer wood made blockboard of different designs. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 27, 189–198. <https://doi.org/10.15421/412426> [Гайда, С. В., Медвідь, Л. В. (2024). Побудова математичної моделі міцності столярних плит різних конструкцій із ВЖД. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*, 27, 189–198.] (in Ukrainian)
- Gayda, S. V., & Medvid, L. V. (2025). Establishing the dependence of the surface-cleaning depth of post-consumer wood blanks on the operating parameters of a needle-milling machine. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 35(6), 25–32. <https://doi.org/10.36930/40350603> [Гайда, С. В., Медвідь, Л. В. (2025). Встановлення залежності глибини поверхневого очищення заготовок із вживаної деревини від режимів роботи голкофрезерного верстату. *Науковий вісник НЛТУ України*, 35(6), 25–32.] (in Ukrainian)
- Krč, J., & Hrázský, J. (2021). Mechanical properties of reclaimed pine timber. *Construction and Building Materials*, 294, 123143. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.123143>
- Krzosek, S. (2022). Hybrid solid wood panels with mixed wood species. *Wood Structure*, 5(2), 145–153. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0016.1030>
- Lagaña, R., & Lanvin, M. (2018). Hybrid particle–solid wood panels: Structure and strength. *Forest Products Journal*, 68(2), 115–123. <https://doi.org/10.13073/FPJ-D-17-00047>
- Lee, S. H., & Kim, H. (2021). Density-sorting method for reclaimed timber optimization. *Journal of Wood Science*, 67(3), 199–208. doi.org/10.1186/s10086-021-01964-7
- Lesiv, L. E. (2020). Study of the characteristics of combined blockboards made of post-consumer wood. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry*, 48, 69–86. doi.org/10.36930/42224806 [Лесів, Л. Е. (2022). Дослідження характеристик комбінованих столярних плит із ВЖД. *Лісове господарство, лісова, паперова і деревообробна промисловість*, 48, 69–86.] (in Ukrainian)
- Lesiv, L. E. (2025). Theoretical substitution of the patterns of the influence of components from post-consumer wood on the physical and mechanical characteristics of combined

- blockboards. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry*, 51, 80–93. <https://doi.org/10.36930/42255106> [Лесів, Л. Е. (2025). Теоретичне обґрунтування закономірностей впливу складових елементів із вживаної деревини на фізико-механічні характеристики комбінованих столярних плит. *Лісове господарство, лісова, паперова і деревообробна промисловість*, 51, 80–93.] (in Ukrainian)
- Lesiv, L. E., & Gayda, S. V. (2023). Mathematical model of forecasting volumes of post-consumer wood production. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry*, 49, 33–47. <https://doi.org/10.36930/42234903> [Лесів, Л. Е., Гайда, С. В. (2023). Математична модель прогнозування обсягів утворення ВЖД. *Лісове господарство, лісова, паперова і деревообробна промисловість*, 49, 33–47.] (in Ukrainian)
- Lesiv, L. E., Gayda, S. V., & Salapak, L. V. (2024). Development of a mathematical model of the strength of joined preparations from post-consumer fir wood. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry*, 50, 16–28. <https://doi.org/10.36930/42245002> [Лесів, Л. Е., Гайда, С. В., Салапак, Л. В. (2024). Розроблення математичної моделі міцності зрощених заготовок із ВЖД ялиці. *Лісове господарство, лісова, паперова і деревообробна промисловість*, 50, 16–28.] (in Ukrainian)
- Lutsenko, A. O. (2025). Formulation of a mathematical model of adaptive furniture design within the IMOS CAD environment. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry*, 51, 135–150. <https://doi.org/10.36930/42255110> [Луценко, А. О. (2025). Побудова математичної моделі адаптивного проектування меблів у середовищі IMOS. *Лісове господарство, лісова, паперова і деревообробна промисловість*, 51, 135–150.] (in Ukrainian)
- Medvid, L. V. (2018). Systematization of wood waste – the basis of their effective use. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry*, 44, 91–104. <https://doi.org/10.36930/42184412> [Медвідь, Л. В. (2018). Систематизація деревинних відходів – основа їх ефективного використання. *Лісове господарство, лісова, паперова і деревообробна промисловість*, 44, 91–104.] (in Ukrainian)
- Medvid, L. V. (2021). Post-consumer wood – an additional reserve of raw materials for construction materials. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry*, 47, 34–46. <https://doi.org/10.36930/42214706> [Медвідь, Л. В. (2021). ВЖД – додатковий резерв сировини для конструкційних матеріалів. *Лісове господарство, лісова, паперова і деревообробна промисловість*, 47, 34–46.] (in Ukrainian)
- Medvid, L. V. (2023). Determination of the strength indicators of normal blockboard made of post-consumer wood. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry*, 49, 85–98. <https://doi.org/10.36930/42234907> [Медвідь, Л. В. (2023). Визначення показників міцності звичайних столярних плит із ВЖД. *Лісове господарство, лісова, паперова і деревообробна промисловість*, 49, 85–98.] (in Ukrainian)
- Murray, A., Skene, K., & Haynes, K. (2017). The circular economy: An interdisciplinary exploration of the concept and application in a global context. *Journal of Business Ethics*, 140(3), 369–380. <https://doi.org/10.1007/s10551-015-2693-2>
- Podibka, T. I., & Kiyko, O. A. (2019). A study of the influence of the transverse dimensions of beech strips on the form stability of furniture board. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry*, 45, 155–171. doi.org/10.36930/42194521 [Подібка, Т. І., Кійко, О. А. (2019). Дослідження впливу поперечних розмірів букових рейок на формостійкість меблевих щитів. *Лісове господарство, лісова, паперова і деревообробна промисловість*, 45, 155–171.] (in Ukrainian)
- Ratajczak, E., & Szostak, A. (2003). Wood waste resources in Poland. *Czysta Energia*, 6, 122–125. <https://www.drewno.pl/artykuly/1399,zasoby-odpadow-drzewnych-w-polsce.html> [Ratajczak, E., Szostak, A. (2003). Zasoby odpadów drzewnych w Polsce. *Czysta Energia*, 6, 122–125.] (in Polish)
- Reike, D., Vermeulen, W. J. V., & Witjes, S. (2018). The circular economy: New or refurbished as CE 3.0? Exploring controversies in the conceptualization of the circular economy through a focus on history and resource value retention options. *Resources, Conservation and Recycling*, 135, 246–264. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.08.027>
- Risse, M. (2020). Reuse of wood elements in composite panels. *Wood Research*, 65(4), 581–592. <https://www.woodresearch.sk>
- Suominen, T., Kunttu, J., Jasinevičius, G., Tuomasjukka, D., & Lindner, M. (2017). Trade-offs in sustainability impacts of introducing cascade use of wood. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 32(7), 588–597. <https://doi.org/10.1080/02827581.2017.1342859>
- Titus, B. D., Brown, K., Helmisaari, H.-S., Vanguelova, E., Stupak, I., Evans, A., ... Reece, P. (2021). Sustainable forest biomass: A review of current residue harvesting guidelines. *Energy, Sustainability and Society*, 11, 10. <https://doi.org/10.1186/s13705-021-00281-w>
- Tuomasjukka, D., Athanassiadis, D., & Vis, M. (2017). Threefold sustainability impact assessment method comparison for renewable energy value chains. *International Journal of Forest*

- Engineering*, 28(2), 116–122. <https://doi.org/10.1080/14942119.2017.1318549>
- Werner, F., Taverna, R., Hofer, P., Thürig, E., & Kaufmann, E. (2010). National and global greenhouse gas dynamics of different forest management and wood use scenarios: A model-based assessment. *Environmental Science & Policy*, 13(1), 72–85. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2009.10.004>
- Zajac, G. (2023). Combined wooden boards with recycled layers. *Wood Engineering*, 7(1), 22–33. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0016.0123>

The influence of the properties of structural elements made of post-consumer wood on the strength characteristics of composite blockboards

S. Gayda¹, L. Lesiv²

The article presents the results of a study on the patterns of influence of structural elements (slats) made of reclaimed post-consumer wood on the physical and mechanical properties of composite blockboards. The relevance of the study is determined by the need to implement circular economy principles in the woodworking industry, where reclaimed used wood is considered a valuable secondary raw material. The object of the study is panel-type boards with a core formed from slats of various widths, species, and materials (solid wood and particleboard-based slats), faced with plywood on both sides. The aim of the study is to establish how the parameters of slats (width, species, material type, and share of solid wood) affect bending and shear strength along the grain. Experimental panels measuring 500 × 500 × 22 mm were manufactured from reclaimed pine and beech wood, partially combined with slats made from particleboard. The tests were conducted in accordance with EN 310:2013 and EN 205:2001 standards. Increasing the slat width from 30 to 60 mm reduced bending strength by 10–11%, while alternating pine and beech slats increased it by 8%. Incorporating 40% of particleboard-based slats reduces solid wood consumption by up to 40% while maintaining acceptable strength values ($\sigma_b = 33.8$ MPa, $\tau = 5.3$ MPa). Empirical models were developed to describe the relationship between slat geometry and mechanical performance: $\sigma_b = 12.7 + 0.028p + 0.19m - 0.11b$ ($R^2 = 0.93$). The optimal configuration was found to be 30–40 mm wide slats with alternating softwood (pine) and hardwood (beech) layers, containing at least 60% solid wood.

It is shown that the strength of composite panels made of reclaimed wood amounts to 89–94%

of that of panels made from new wood, which confirms their potential for industrial use, particularly in furniture and interior applications. The obtained results provide a scientific basis for developing resource-efficient technologies for producing environmentally sustainable composite wood materials in the context of the circular economy.

It was found that composite boards based on reclaimed-wood slats have a high potential for introduction into production as an environmentally sustainable structural material. Patterns have been established that can be used in the development of adaptive engineering models, which will allow predicting the properties of blockboards depending on their composition and structure.

Prospects for further research on the use of reclaimed wood are proposed, which involve studying the influence of operational factors (changes in moisture, temperature, cyclic loads) on the durability of composite boards made of reclaimed wood with the aim of their further use in production purposes; optimizing adhesive systems for the study of polyurethane and bioadhesives to enhance the environmental safety and water resistance of joints during re-pressing; examining structural defects in reclaimed wood slats using ultrasonic diagnostics to develop a non-destructive sorting system before gluing; and developing recommendations for the production of composite blockboards using post-consumer wood at woodworking enterprises.

Key words: wood properties; panel construction; slats; bending strength; shearing strength; circular economy; reuse; PVA glue; plywood; solid wood; particleboard.

¹Serhiy Gayda – 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: serhiy.hayda@nltu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7468-5661>

²Lev Lesiv – Postgraduate student at the Department of Furniture Production Techniques and Wood Products Technology. Ukrainian National Forestry University, 103 General Chuprynka St., Lviv, 79057, Ukraine. E-mail: lev.lesiv@nltu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-3959-5447>