

6. ДЕРЕВООБРОБНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ЛІСОВА ІНЖЕНЕРІЯ



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

<http://fasu.nltu.edu.ua>
<https://doi.org/10.36930/412536>
Article received 2025.03.11
Article revised 2025.09.24
Article accepted 2025.10.23
Article published 2026.03.17

ISSN 1991-606X print
ISSN 2616-5015 online
@ ✉ Correspondence author
Pavlo Bekhta
bekhta@ukr.net
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 674-419.32

Фізичні властивості легких стружкових плит із частковою та повною заміною деревини кострицею конопель

П.А. Бехта¹, Р.І. Рябишев²

Зростаючий попит на деревинні плити для будівельної та меблевої галузей, а також посилення глобальної стурбованості щодо зменшення антропогенного тиску на лісові ресурси зумовлюють необхідність пошуку альтернативних видів сировини для їх виробництва. Сільське господарство може забезпечувати сировину не лише з недеревних рослин, але й із численних відходів та побічних продуктів. Метою роботи було з'ясувати вплив часткової чи повної заміни деревної стружки кострицею коноплі на фізичні властивості стружкових плит.

Виготовляли тришарові стружкові плити щільністю 350, 450 і 550 кг/м³ з різними об'ємними пропорціями частинок деревини та костриці коноплі у внутрішньому шарі (100:0, 75:25, 50:50, 25:75, 0:100%), тоді як зовнішні шари склалися лише з деревних частинок. Плити, виготовлені повністю з деревинної стружки, використовували як еталонні. Для склеювання частинок застосовували карбамідоформальдегідний (КФ) клей. Досліджували насипну щільність частинок, набрякання за товщиною і водопоглинання плит.

Костриця конопель має нижчу насипну щільність порівняно з деревинною стружкою, а її частинки відзначаються меншими розмірами, ніж деревинні. Дисперсійний аналіз (ANOVA) показав, що щільність плит і вміст костриці коноплі у внутрішньому шарі сут-

¹ Бехта Павло Антонович – академік Лісівничої академії наук України, доктор технічних наук, професор кафедри технологій деревинних композиційних матеріалів, целюлози та паперу. Національний лісотехнічний університет України, вул. генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. E-mail: bekhta@ukr.net ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4320-5247>

² Рябишев Роман Ілліч – аспірант кафедри технологій деревинних композиційних матеріалів, целюлози та паперу. Національний лісотехнічний університет України, вул. генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. E-mail: riabyshev.roman@nltu.lviv.ua ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-6391-008X>

тево впливають на набрякання за товщиною і водопоглинання. Часткова заміна деревинної стружки кострицею коноплі покращує фізичні властивості плит: збільшення щільності зменшує водопоглинання та збільшує набрякання, а збільшення вмісту костриці коноплі у внутрішньому шарі зменшує набрякання за товщиною і водопоглинання.

Отже, використання костриці коноплі дає змогу частково замінити деревину у виробництві стружкових плит, що сприяє зниженню потреби в лісових ресурсах, скороченню собівартості, підвищенню екологічної стійкості легких плит та ефективному використанню сільськогосподарських відходів.

Ключові слова: деревинні композиційні матеріали; агровідходи; деревинна стружка; насипна щільність; набрякання за товщиною; водопоглинання.

Вступ (Introduction).

Світове виробництво деревинних матеріалів впродовж останніх десятиліть стабільно зростає. Серед широкого спектра деревних плит особливе місце займають стружкові плити (СП), які у 2023 р. складали близько 53% від загального виробництва деревних плит у країнах Європейської федерації виробників деревних плит (European Panel Federation, 2025). Водночас збільшення вирубки лісів призводить до обмеженої доступності деревини, підвищення її вартості та загострення конкуренції за сировину (Mantau, 2010; Mantau, 2012). Це стимулює пошук альтернативних джерел сировини для часткової або повної заміни деревини у виробництві деревинних композиційних матеріалів (Neitzel et al., 2022; Bresnahan, 2022).

Щільність традиційних СП зазвичай становить 600–750 кг/м³ (Suchsland, & Woodson, 1986). Згідно зі стандартом CEN/TS 16368 (2014), легкими вважають плити зі щільністю менше ніж 600 кг/м³. Легкі СП мають низку переваг для виробників, дизайнерів і кінцевих користувачів порівняно зі стандартними плитами. Їх використання розширює можливості інтер'єрного проектування (застосування масивніших елементів, зниження навантаження під час монтажу), спрощує монтаж і оброблення, полегшує транспортування та механічне оброблення, а також дозволяє зменшити витрати на перевезення та сировину (Bekhta et al., 2022; Michanickl, 2006). Вага матеріалу є третім за значущістю критерієм для споживачів під час вибору меблів – після дизайну та вартості (Khojasteh-Khosro, Shalbafan, & Thoemen, 2020).

Одним із важливих підходів до зниження щільності деревних плит є використання сировини з однорічних та багаторічних рослин (Balducci et al., 2008; Meinschmidt et al., 2008), а також поєднання деревини з волокнистими рослинними матеріалами сільськогосподарського походження (Dziurka, & Mirski, 2013; Meinschmidt et al.,

2008; Mirski, Banaszak, & Bekhta, 2021). Застосування аграрних залишків не лише сприяє збереженню довкілля, але й допомагає вирішувати соціально-економічні проблеми, оскільки такі відходи зазвичай закладаються у ґрунт або спалюються (Papadopoulos, Kyzas, & Mitropoulos, 2019; Sun et al., 2013). Як поновлюваний біоресурс, агровідходи мають значний потенціал як альтернатива традиційним деревним матеріалам у виробництві стружкових плит.

Одним із напрямів зниження витрат деревини у СП є використання сільськогосподарських відходів та однорічних рослин. Протягом останніх десятиліть дослідники вивчали широкий спектр таких матеріалів, зокрема пшеничну та ріпакову соломку (Bekhta, Korkut, & Hiziroglu, 2013; Dziurka & Mirski, 2013), рисову соломку (Hussein et al., 2019), стебла бавовнику (Guler, & Ozen, 2004), кострицю конопель та льону (Auriga et al., 2022; Réh, & Vrtielka, 2013; Sam-Brew, & Smith, 2017; Zvirgzds et al., 2022), чайне листя (Yalinkilic et al., 1998), стебла очерету (Kord, Roohani, & Kord, 2015), обрізки виноградної лози (Yeniocak et al., 2014), гілки фінікової пальми (Ghofrani, Ashori, & Mehrabi, 2017), сіно (Pipiska et al., 2023) та стебла соняшнику (Khristova, Yossifov, & Gabir, 1996).

Особливу увагу привертають коноплі звичайні або посівні (*Cannabis sativa* L.), які є швидкозростаючою та відновлюваною сировиною (рис. 1). Урожай з одного акра конопель забезпечує таку ж кількість целюлози, як і чотири акри деревних насаджень, і дозріває всього за 100 днів (Moulana, 2012; Anders Norén, 2025). Після первинної переробки рослини отримують 30% волокон і 70% костриці, відходи механічної обробки стебел, які можуть бути використані у виробництві СП без додаткового подрібнення. На відміну від інших агровідходів, костриця конопель має відносно однорідний розмір часток і низький вміст лігніну, що забезпечує рівномірне склеювання та підвищену стабільність розмірів плит.



Рис. 1. Посіви технічної коноплі (Джерело фото: Latifundist.com)

Fig. 1. Industrial hemp crops (Photo source: Latifundist.com)

Дослідження показують, що конопляна стружка та костриця технічно придатні для виготовлення СП (Auriga et al., 2022; Réh, & Vrtielka, 2013; Sam-Brew, & Smith, 2017; Zvirgzds et al., 2022; Mehmet, 2025). Так, Auriga et al. (2022) встановили, що додавання 10–25% конопляної стружки практично не змінює MOR, MOE та внутрішній зв'язок плит, але для плит із вмістом 25% конопляної стружки було зафіксовано зменшення набрякання за товщиною порівняно з плитами, виготовленими виключно з деревних частинок. Réh, & Vrtielka (2013) показали, що часткова заміна деревини кострицею у середньому шарі дає змогу отримати плити зі збереженням фізико-механічних властивостей на рівні стандартних СП. Sam-Brew, & Smith (2017) виявили, що геометрія частинок конопель і лляної костри підвищує характеристики згинання та стабільність розмірів, хоча збільшує набрякання за товщиною та водопоглинання. Zvirgzds et al. (2022) продемонстрували можливість використання костриці для виготовлення плит малої щільності ($300 \pm 30 \text{ кг/м}^3$) як теплоізоляційного матеріалу. Mehmet (2025) показав, що додавання 10–30% конопель до середнього шару плити щільністю 580 кг/м^3 покращує механічні властивості та знижує вміст вільного формальдегіду, але збільшує водопоглинання і набрякання за товщиною.

Незважаючи на численні дослідження використання конопель у СП, більшість з них зосереджена на плитах щільністю понад 500 кг/м^3 . Інформація про технології виготовлення легких СП із застосуванням костриці коноплі залишається

обмеженою, особливо щодо оптимізації співвідношення деревної стружки і костриці, впливу на фізичні властивості та взаємодію з карбамідоформальдегідною смолою. Таким чином, наукова новизна нашого дослідження полягає у комплексному вивченні технологічної доцільності виготовлення легких СП щільністю $350\text{--}550 \text{ кг/м}^3$ із частковою або повною заміною деревної стружки кострицею коноплі, а також аналізі їхніх фізичних властивостей порівняно з чинними стандартами і даними літератури.

Мета роботи полягає у з'ясуванні впливу часткової чи повної заміни деревної стружки кострицею коноплі на фізичні властивості стружкових плит.

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

Об'єкт дослідження – процес виготовлення легких стружкових плит із використанням костриці коноплі. Предмет дослідження – фізичні властивості легких стружкових плит, виготовлених із застосуванням костриці коноплі.

Частинки деревини хвойних (75%) та листяних (25%) порід (походження: Українські Карпати, Івано-Франківська область, Україна), отримані у процесі промислового виробництва на заводі з виготовлення стружкових плит, мали початкову вологість близько 8%. Кострицю коноплі було надано підприємством «Calipso» (Чернігівська область, Україна). Фракційний склад і морфологічні характеристики частинок деревини й костриці коноплі, використаних для формування зовнішніх і внутрішніх шарів плит, наведено в табл. 1 та на рис. 2.

Таблиця 1. Фракційний склад (у %) деревинної стружки та костриці конопель
Table 1. Fractional composition (in %) of wood chips and hemp shives

Розмір отворів сита, мм	Зовнішній шар, деревинна стружка, %	Внутрішній шар, деревинна стружка, %	Внутрішній шар, костриця коноплі, %
5,0	–	4,57	2,84
4,0	–	16,90	8,47
2,0	–	25,25	23,33
1,0	3,24	27,98	32,11

Продовження таблиці 1

Розмір отворів сита, мм	Зовнішній шар, деревинна стружка, %	Внутрішній шар, деревинна стружка, %	Внутрішній шар, костриця коноплі, %
0,63	6,69	16,87	24,52
0,50	9,24	—	—
0,40	12,39	—	—
0,315	25,96	3,77	6,42
0,20	23,40	—	—
Пил	19,08	1,39	2,31
Разом	100	100	100



Рис. 2. Частинки використовувані для виготовлення плит: деревинна стружка для зовнішніх (а) і внутрішнього шарів (б); частинки костриці конопель для внутрішнього шару (с)

Fig. 2. Particles used for production of particleboards: wood chips for outer (a) and core layers (b); hemp shives particles for core layer (c)

Частинки деревини та костриці коноплі висушували в лабораторній сушарці до вологості приблизно 3% за температури 90°C. Для виготовлення плит застосовували карбамідоформальдегідну (КФ) смолу марки А (виробник: Swiss Kropan Sp. z o.o., м. Жари, Польща), парафінову емульсію, карбамід (43%-ий розчин) та сульфат амонію $[(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4]$ (33%-ий розчин). КФ-смола характеризувалася такими параметрами: густина – 1,28 г/см³, масова частка сухого залишку – 66%, в'язкість за віскозиметром Форда (4 мм, 20°C) – 98 с, рН – 8,05, час гелеутворення – 50 с.

Насипну щільність частинок визначали шляхом вимірювання їхньої маси та насипного об'єму. Спочатку визначали об'єм скляної посудини, в якій проводили дослідження частинок. Для цього скляну посудину встановлювали на ваги, зважували з точністю до 0,01 г і заповнювали водою до верху при кімнатній температурі. Надлишкову поверхневу плівку води, що

утворилася на краях посудини, видаляли скляною паличкою. Посудину з водою зважували. Об'єм посудини (V , м³) обчислювали за формулою:

$$V = \frac{m_1 - m_0}{\rho_w} \cdot 10^{-3}, \quad (1)$$

де m_0 = маса порожньої посудини, г; m_1 = маса посудини з водою, г; ρ_w = густина води, кг/м³.

Насипну щільність і масу частинок визначали шляхом заповнення скляної посудини відомого об'єму частинками. Посудину зважували та заповнювали частинками до верху. Надлишкові частинки видаляли, проводячи скляною паличкою вздовж країв посудини. Посудину з частинками зважували.

Насипну щільність частинок за заданої вологості (ρ_{pw} , кг/м³) обчислювали за формулою:

$$\rho_{pw} = \frac{m_2 - m_0}{V} \cdot 10^{-3}, \quad (2)$$

де m_2 = маса посудини з частинками, г.

Насипну щільність абсолютно сухих частинок (ρ_p , кг/м³) обчислювали за формулою:

$$\rho_p = \frac{100 \cdot \rho_{pw}}{100 + W}, \quad (3)$$

де W = вологість частинок, %.

Тришарові плити розміром 290 × 290 × 16 мм (довжина × ширина × товщина) та щільністю 350, 450 і 550 кг/м³ виготовляли в лабораторних умовах. Зовнішні шари плит формували виключно з деревних частинок. Частинки костриці ко-

ноплі не використовували для зовнішніх шарів з огляду на наявність волокнистих елементів стебла, що можуть спричинювати нерівномірність твердості поверхні та ускладнювати процес ламінування. У зв'язку з цим кострицю коноплі вводили лише до середнього шару. Об'ємні співвідношення деревних частинок і частинок костриці коноплі у середньому шарі становили 100 : 0, 75 : 25, 50 : 50, 25 : 75 і 0 : 100% (табл. 2). Співвідношення маси (зовнішні шари : середній шар) було однаковим для всіх зразків і становило 33 : 67%.

Таблиця 2. Варіанти виготовлених плит
Table 2. Variants of manufactured boards

Варіант	Щільність плит (кг/м ³)	Частка частинок в середньому шарі (%)	
		деревина	костриця коноплі
A0	350	100	0
A25		75	25
A50		50	50
A75		25	75
A100		0	100
B0	450	100	0
B25		75	25
B50		50	50
B75		25	75
B100		0	100
C0	550	100	0
C25		75	25
C50		50	50
C75		25	75
C100		0	100

Примітка. Зовнішні шари на 100% складаються з деревних частинок

Кількість КФ-смоли, карбаміду, затверджувача та парафінової емульсії, необхідних для змішування, відрізнялася для середнього та зовнішніх шарів. Це передусім зумовлено різницею температур між поверхневими та внутрішніми шарами плити, спричиненою теплообміном від її поверхні до центру. Додатково варіювання кількості смоли та добавок пояснюється відмінностями у питомій поверхні частинок, що формують внутрішній і зовнішні шари. Вміст КФ-смоли становив 14% та 9% від маси сухих частинок у зовнішніх і внутрішньому шарах відповідно. Під час змішування до смоли додавали 2,3% і 0,5% розчину карбаміду та 0,2% і 0,6% розчину сульфату амонію, виходячи з маси сухих частинок для зовнішніх і внутрішнього шарів відповідно. Крім того, до смоли вносили 0,8% парафінової емульсії. Клейову композицію наносили на частинки, після чого суміш перемішували вручну. Обсмолені частинки рівномірно розподіляли у прямокутній дерев'яній формі, що слугувала основою для формування килима. Сформований стружковий килим ущіль-

нювали вручну в цій формі, після чого його піддавали гарячому пресуванню на автоматизованому гідравлічному лабораторному пресі за тиску 2,5 МПа, температури 190°C і тривалості пресування 0,37 хв/мм. Упродовж останніх 30 с циклу тиск поступово зменшували до 0 МПа.

Після пресування плити охолоджували на повітрі до досягнення ними кімнатної температури. Перед проведенням випробувань плити кондиціювали впродовж одного тижня у приміщенні з відносною вологістю 65 ± 5% та температурою 20°C. Для кожного типу плит виготовляли по три зразки, усього 45 плит. Після кондиціювання плити розрізали до необхідних розмірів згідно з вимогами відповідних стандартів.

Вплив вмісту частинок костриці коноплі на WA та TS плит визначали на зразках розміром 50 × 50 мм відповідно до EN 317 (1993) шляхом занурення зразків для випробування, орієнтованих вертикально, у воду кімнатної температури на 2 та 24 години. Після кожного періоду занурення зразки для випробування зливали з

надлишку води та вимірювали зміну товщини і кількість поглиненої води.

За результатами випробувань проведено статистичний аналіз отриманих експериментальних даних з використанням програми Statistica 14 (StatSoft Inc., USA).

Результати (Results).

Ситовий аналіз (див. табл. 1) дав змогу визначити розподіл розмірних фракцій костриці коноплі та деревинних частинок. Для деревинних частинок внутрішнього шару найбільша частка спостерігалася на ситах із розмірами отворів 1 мм та 2 мм – 27,98 і 25,25% відповідно. На ситах 0,315 і 0,63 мм частка становила 3,77 та 16,87%. Найдрібніші фракції у вигляді пилу були зібрані на дні вібраційного сита і становили 1,39%. Для частинок костриці коноплі ситовий аналіз показав найбільшу представленість на ситі 1 мм – 32,11%. Значну частку також зафіксовано на ситах 0,63 мм (24,52%) та 2 мм (23,33%). Менші кількості виявлено на ситі 5 мм (2,84%), дещо більшу – на ситі 0,315 мм (6,42%), а най-

дрібніші залишки у вигляді пилу становили 2,31%.

Дослідження показало, що насипна щільність костриці конопель для внутрішнього шару є майже вдвічі нижчою порівняно з деревною стружкою, яку застосовано у зовнішніх шарах (табл. 3), та приблизно на 36% нижчою для внутрішнього шару. Для виробників плит це означає, що для досягнення тієї ж товщини плити необхідно використовувати більший об'єм костриці конопель, ніж деревної стружки. Низька насипна щільність костриці призводить до більшого числа частинок у тому ж об'ємі, що зменшує кількість пустот, збільшує площу контакту між частинками та зменшує доступну поверхню для адсорбції молекул води. Відповідно, часткова заміна деревної стружки кострицею конопель може зменшувати водопоглинання (WA) плит. Крім того, така заміна може покращувати ефективність теплопередачі до середнього шару під час пресування порівняно з використанням традиційної деревної стружки.

Таблиця 3. Значення насипної щільності костриці конопель і деревної стружки
Table 3. Bulk density values for hemp shives and wood chips

Сировина	Насипна щільність (кг/м ³)
Деревна стружка для зовнішніх шарів	166,9
Деревна стружка для внутрішнього шару	135,1
Костриця коноплі для внутрішнього шару	86,3

Встановлено закономірності впливу щільності плит та вмісту костриці технічної коноплі у середньому шарі на фізичні властивості легких стружкових плит. Дисперсійний аналіз (ANOVA) показав, що як щільність плит, так і вміст костриці коноплі у внутрішньому шарі суттєво впливають на водопоглинання (WA) та набрякання за товщиною (TS) (табл. 4). При цьому щільність стружкових плит має більший

вплив на обидва показники, ніж вміст костриці коноплі. До того ж, додавання костриці коноплі не впливає суттєво на щільність плит (рис. 3). Різниця у щільності виготовлених стружкових плит, порівняно з передбачуваною щільністю (350, 450 і 550 кг/м³), не перевищувала 5%. Окрім того, різниця в щільності плит, виготовлених в окремих варіантах, не була статистично значущою.

Таблиця 4. Вплив змінних факторів на фізичні властивості плит
Table 4. The influence of variable factors on the physical properties of boards

№	Залежні змінні	Факторні взаємодії	Значення F-статистики	Значущість (P)
1	Водопоглинання	Щільність плит	4211,22	0.000**
		Вміст костриці	114,54	0.000**
		Щільність плит × Вміст костриці	11,52	0.000**
2	Набрякання за товщиною	Щільність плит	3032,22	0.000**
		Вміст костриці	123,46	0.000**
		Щільність плит × Вміст костриці	6,39	0.000**

Примітка. Значення $p < 0,05$ позначено як статистично значущі (**)

Дискусія (Discussion).

Додавання костриці коноплі у середній шар стружкових плит позитивно вплинуло на їх водопоглинання та набрякання за товщиною (рис. 4, 5). Загалом спостережено, що зі збільшенням цільової щільності плит значення WA після 2 та 24 годин занурення зменшуються, і ця тенденція характерна для всіх типів досліджуваних плит. Так, у плитах

C100, що містять 100% костриці коноплі і мають щільність 550 кг/м³, WA через 2 та 24 години була на 33,3% та 44% нижчою порівняно з плитами A100 щільністю 350 кг/м³. Це пояснюється тим, що вода вільніше проникає у структуру плит з низькою щільністю та великою кількістю пор, тоді як у менш пористих плитах з високою щільністю дифузія води ускладнена.

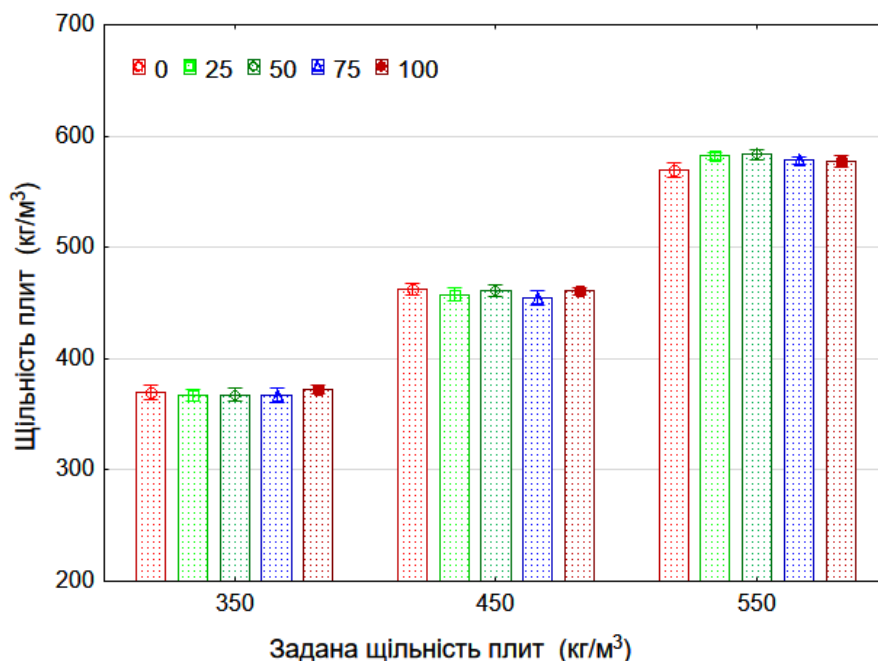


Рис. 3. Фактична щільність СП залежно від заданої щільності плит і вмісту костриці конопель
Fig. 3. Actual board density depending on the target density of boards and hemp shives content

Зі збільшенням вмісту костриці коноплі в середньому шарі стружкових плит WA зменшується як через 2, так і через 24 години занурення. Для плит A100, B100 і C100 з цільовою щільністю 350, 450 та 550 кг/м³ відповідно, WA

була нижчою порівняно з плитами A0, B0 та C0 тієї ж щільності, виготовленими виключно з деревної стружки. Зокрема, у плитах C100 зі 100% костриці коноплі WA через 2 та 24 години була на 6,7% та 9,1% нижчою, ніж у плитах C0.

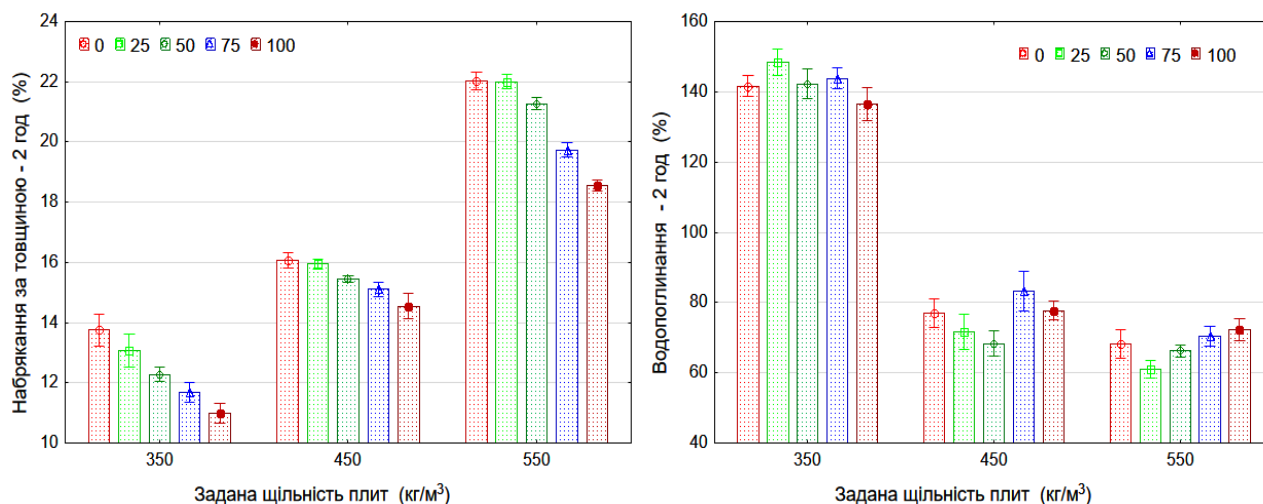


Рис. 4. Набрякання (2 год) і водопоглинання (2 год) плит залежно від щільності плит і вмісту костриці конопель
Fig. 4. Thickness swelling (2h) and water absorption (2h) of boards depending on target density of boards and hemp shives content

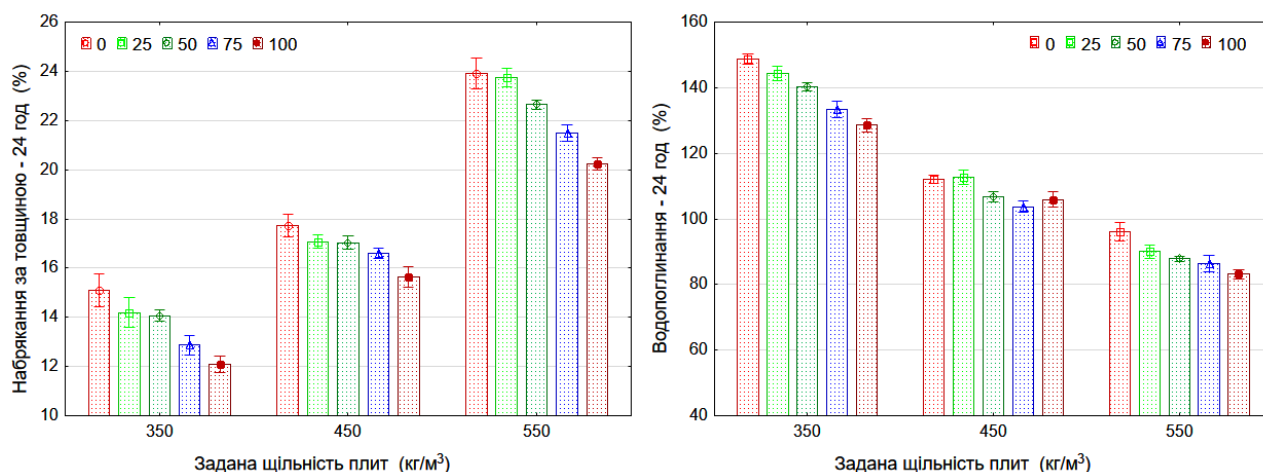


Рис. 5. Набрякання (24 год) і водопоглинання (24 год) плит залежно від щільності плит і вмісту костриці конопель

Fig. 5. Thickness swelling (24h) and water absorption (24h) of boards depending on target density of boards and hemp shives content

Позитивний вплив костриці коноплі на WA пояснюється більш компактною структурою середнього шару та меншою насипною щільністю частинок порівняно з деревною стружкою. Менша кількість порождин між частинками перешкоджає проникненню води всередину плити, що знижує її водопоглинання.

Набрякання за товщиною корелює з кількістю поглиненої маси води. Вміст костриці коноплі у внутрішньому шарі також позитивно впливав на набрякання за товщиною (TS) плит. Так, TS через 2 та 24 години для плит A100, B100 та C100 з цільовою щільністю 350, 450 та 550 кг/м³ відповідно, виготовлених із 100% костриці коноплі у середньому шарі, були нижчими порівняно з плитами A0, B0 та C0 тієї ж щільності, виготовленими з деревної стружки. Зокрема, для плит щільністю 550 кг/м³ TS через 2 та 24 години замочування у воді було на 4,4% та 3,3% нижче, ніж у плитах із 100% деревини.

З іншого боку, значення TS збільшувалися зі зростанням щільності плит. Плити з щільністю 550 кг/м³, що містили 100% костриці коноплі у середньому шарі, показали на 54,4% та 71,4% вищі TS після 2 і 24 годин занурення у воду відповідно, ніж плити щільністю 350 кг/м³. Пояснення полягає в тому, що руйнування клейових з'єднань під дією води призводить до деформацій структури плити. Після пресування у частинках виникають зворотні деформації, які більші у плитах з високою щільністю.

Аналогічні тенденції зміни водопоглинання та набрякання за товщиною плит із додаванням костриці коноплі відзначали й інші дослідники. Auriga et al. (2022) виготовляли сім варіантів стружкових плит щільністю 650 кг/м³ із заміною 10 та 25% конопляної стружки в різних шарах. Автори встановили, що після замочування у воді

впродовж 2 та 24 годин значення набрякання за товщиною (TS) знижувалося для плит із 25% часткою костриці коноплі порівняно з плитами, повністю виготовленими з промислових деревних частинок. Найбільше зниження показника TS спостережено у плит з додаванням костриці у внутрішній шар або одночасно у зовнішні та внутрішній шари. Цікаво, що частка костриці коноплі в межах 10–25% не впливала на водопоглинання плит, незалежно від варіанта їх конструкції. Так, досліджуючи застосування костриці коноплі у виробництві стружкових плит для будівельної галузі Zvirgzds et al. (2022) встановили, що менші частинки костриці набрякали на 20% більше, ніж частинки більшого розміру. Довговічність плитних матеріалів, за їхніми даними, можна підвищити за рахунок використання більших фракцій костриці, а також завдяки додатковому обробленню – нанесенню водного покриття перед пресуванням плит. Крім того, набрякання за товщиною після 24 годин замочування зменшувалося на 30–40% у зразків, виготовлених із більших частинок костриці та попередньо оброблених водним покриттям, порівняно з необробленими зразками такого самого розміру частинок і щільності.

Висновки (Conclusions).

Експериментальні дослідження дали змогу оцінити вплив часткової заміни деревинної стружки кострицею коноплі на фізичні властивості легких стружкових плит різної щільності та зробити такі висновки

1. Використання костриці коноплі доцільне для виготовлення легких СП щільністю 450–550 кг/м³. Насипна щільність частинок костриці коноплі майже вдвічі нижча за щільність деревної стружки у зовнішніх шарах і на 36% менша, ніж

насипна щільність стружки середнього шару. До того ж, частинки костриці конопель відзначаються меншими розмірами, ніж деревинні частинки.

2. Плити з внутрішнім шаром зі 100% костриці коноплі мали нижчі значення водопоглинання (WA) та набрякання за товщиною (TS) порівняно з плитами, виготовленими повністю з деревної стружки.

3. Дисперсійний аналіз (ANOVA) підтвердив, що щільність плит і вміст костриці коноплі у внутрішньому шарі суттєво впливають на WA та TS.

4. Костриця коноплі, яку раніше розглядали лише як аграрний відхід, може ефективно використовуватись у виробництві легких стружкових плит, що знижує навантаження на лісові ресурси та сприяє створенню екологічно безпечних матеріалів для внутрішнього використання.

Список літератури (References)

- Auriga, R., Pędzik, M., Mrozowski, R., & Rogoziński, T. (2022). Hemp shives as a raw material for the production of particleboards. *Polymers*, 14(23), 5308. <https://doi.org/10.3390/polym14235308>
- Balducci, F., Harper, C., Meinschmidt, P., Dix, B., & Sanasi, A. (2008). Development and innovation in particleboard panels. *Drvna Industrija*, 59(3), 131–136.
- Bekhta, P., Kozak, R., Sedliačik, J., Gryc, V., Sebera, V., Bajzová, L., & Iždinský, J. (2022). Selected properties of veneered lightweight particleboards with expanded polystyrene. *Materials*, 15(18), 6474. <https://doi.org/10.3390/ma15186474>
- Bekhta, P., Korkut, S., & Hiziroglu, S. (2013). Effect of pretreatment of raw material on properties of particleboard panels made from wheat straw. *BioResources*, 8(3), 4766–4774.
- Bresnahan, S. (2022, December 12). Why are trees important to the ocean? *WellKind Guatemala NGO*. <https://www.wellkind.org/blog/ym63d9rbtfq2syoc1gibpl3w4sh9qm>
- European Committee for Standardization. (2014). *Lightweight particleboards—Specifications* (CEN/TS 16368:2014). <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/cen/61fdee12-7971-4c50-ba8d-4be0bfb3b5f1/cen-ts-16368-2014>
- Dziurka, D., & Mirski, R. (2013). Lightweight boards from wood and rape straw particles. *Drewno*, 56(190), 19–31. <https://doi.org/10.12841/wood.1644-3985.051.02>
- European Committee for Standardization. (1993). *Particleboards and fibreboards—Determination of swelling in thickness after immersion in water* (EN 317:1993). Brussels, Belgium: CEN. ru.scribd.com/document/736512184/317-1993-BS-EN
- European Panel Federation. (2025). Types of wood-based panels and their economic impact. <https://europanel.org/the-wood-based-panel-industry/types-of-wood-based-panels-economic-impact/>
- Ghofrani, M., Ashori, A., & Mehrabi, R. (2017). Mechanical and acoustical properties of particleboards made with date palm branches and vermiculite. *Polymer Testing*, 60, 153–159. doi.org/10.1016/j.polymeresting.2017.03.028
- Guler, C., & Ozen, R. (2004). Some properties of particleboards made from cotton stalks (*Gossypium hirsutum* L.). *Holz als Roh- und Werkstoff*, 62, 40–43. <https://doi.org/10.1007/s00107-003-0439-9>
- Hussein, Z., Ashour, T., Khalil, M., Bahnasawy, A., Ali, S., Hollands, J., & Korjenic, A. (2019). Rice straw and flax fiber particleboards as a product of agricultural waste: Evaluation of technical properties. *Applied Sciences*, 9(18), 3878. <https://doi.org/10.3390/app9183878>
- Khojasteh-Khosro, S., Shalbafan, A., & Thoemen, H. (2020). Preferences of furniture manufacturers for using lightweight wood-based panels as eco-friendly products. *European Journal of Wood and Wood Products*, 78, 593–603. <https://doi.org/10.1007/s00107-020-01519-8>
- Khristova, P., Yossifov, N., & Gabir, S. (1996). Particle board from sunflower stalks: Preliminary trials. *Bioresource Technology*, 58(3), 319–321. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(96\)00112-5](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(96)00112-5)
- Kord, B., Roohani, M., & Kord, B. (2015). Characterization and utilization of reed stem as a lignocellulosic residue for particleboard production. *Maderas. Ciencia y Tecnología*, 17, 517–524. <https://doi.org/10.4067/S0718-221X2015005000046>
- Mantau, U. (2010). Is there enough wood for Europe? In *EUwood—Final report* (pp. 19–34). Hamburg, Germany.
- Mantau, U. (2012). *Wood flows in Europe (EU27)*. Celle, Germany.
- Mehmet, E. K. (2025). Mechanical and physical properties of particleboard produced from hemp plant. *BioResources*, 20(3), 5361–5376. <https://doi.org/10.15376/biores.20.3.5361-5376>
- Meinschmidt, P., Schrip, A., Dix, B., Thole, V., & Brinker, N. (2008). Agricultural residues with light parenchyma cells and expandable fillers for lightweight particleboards. In *Proceedings of the International Panel Products Symposium* (pp. 179–188). Espoo, Finland.
- Michanickl, A. (2006). Development of a new light wood-based panel. In *Proceedings of the 5th European Wood-Based Panel Symposium* (pp. 4–6). Hannover, Germany.
- Mirski, R., Banaszak, A., & Bekhta, P. (2021). Selected properties of formaldehyde-free polymer-

- straw boards made from various thermoplastics and types of straw. *Materials*, 14(5), 1216. <https://doi.org/10.3390/ma14051216>
- Moulana, R. (2012). Utilization of hemp (*Cannabis sativa* L.) as an alternative raw material for the production of three-layered particleboard. In *Proceedings of the 2nd Annual International Conference Syiah Kuala University* (Vol. 2). Banda Aceh, Indonesia.
- Neitzel, N., Hosseinpourpia, R., Walther, T., & Adamopoulos, S. (2022). Alternative materials from agro-industry for wood panel manufacturing: A review. *Materials*, 15, 4542. <https://doi.org/10.3390/ma15134542>
- Norén, A. (2025). *Worldpress: Are we consuming plywood?* <https://wordpress.kpu.ca/najikad93/hemp-can-save-trees/>
- Papadopoulos, A. N., Kyzas, G. Z., & Mitropoulos, A. C. (2019). Lignocellulosic composites from acetylated sunflower stalks. *Applied Sciences*, 9(4), 646. <https://doi.org/10.3390/app9040646>
- Pipiska, T., Paschová, Z., Král, P., Nociar, M., Červenka, J., Meyer, M., & Wimmer, R. (2023). Alternative particleboards based on treated and untreated hay. *BioResources*, 18(1), 357–366. <https://doi.org/10.15376/biores.18.1.357-366>
- Réh, R., & Vrtielka, J. (2013). Modification of the core layer of particleboard with hemp shives and its influence on board properties. *Acta Facultatis Xylogologiae Zvolen*, 55(1), 51–59.
- Sam-Brew, S., & Smith, G. D. (2017). Flax shive and hemp hurd residues as alternative raw material for particleboard production. *BioResources*, 12(3), 5715–5735. doi.org/10.15376/biores.12.3.5715-5735
- Suchsland, O., & Woodson, G. E. (1986). *Fiberboard manufacturing practices in the United States* (Agric. Handbook No. 263). U.S. Department of Agriculture, Forest Service.
- Sun, S., Mathias, J.-D., Toussaint, E., & Grédiac, M. (2013). Hygromechanical characterization of sunflower stems. *Industrial Crops and Products*, 46, 50–59. doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.01.009
- Yalinkilic, M. K., Imamura, Y., Takahashi, M., Kalaycioglu, H., Nemli, G., Demirci, Z., & Ozdemir, T. (1998). Biological, physical, and mechanical properties of particleboard manufactured from waste tea leaves. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 41(1), 75–84. [https://doi.org/10.1016/S0964-8305\(98\)80010-3](https://doi.org/10.1016/S0964-8305(98)80010-3)
- Yeniocak, M., Gökteş, O., Erdil, Y. Z., Özen, E., & Alma, M. H. (2014). Investigating the use of vine pruning stalks (*Vitis vinifera* L. cv. Sultani) as raw material for particleboard manufacturing. *Wood Research*, 59(1), 167–176.
- Zvirgzds, K., Kirilovs, E., Kukle, S., & Gross, U. (2022). Production of particleboard using hemp shives of various particle sizes. *Materials*, 15(3), 886. <https://doi.org/10.3390/ma15030886>

Physical properties of lightweight particleboards with partial and complete replacement of wood with hemp shives

P. Bekhta¹, R. Riabyshev²

The growing demand for wood-based panels in the construction and furniture industries, along with increasing global concern about reducing anthropogenic pressure on forest resources, necessitates the search for alternative raw materials for their production. Agriculture can supply raw materials not only from non-woody plants, but also from numerous residues and by-products.

The aim of this study was to evaluate the effect of partial or complete replacement of wood particles with hemp shives in the core layer of three-layer lightweight particleboards on their physical properties, with particular emphasis on thickness swelling and water absorption. To this end, three-layer particleboards with target densities of 350, 450, and 550 kg/m³ were manufactured using different volume ratios of wood particles to hemp shives in the core layer: 100:0, 75:25, 50:50, 25:75, and 0:100%. The outer layers were identical in all variants and consisted exclusively of wood particles, allowing for an unbiased assessment of the influence of core layer modification.

Boards manufactured exclusively from wood chips (100%) were used as reference (control) samples for comparison. Urea–formaldehyde (UF) adhesive, commonly applied in particleboard production, was used as the binder. During the study, the bulk density of wood particles and hemp shives was determined, and the boards were tested for thickness swelling and water absorption after 2 and 24 hours of soaking in water.

Hemp shives exhibited a lower bulk density compared to wood chips and their particles were

smaller in size than those of wood. Analysis of variance (ANOVA) revealed that both board density and the proportion of hemp shives in the core layer had a statistically significant effect on thickness swelling and water absorption. Partial replacement of wood particles with hemp shives resulted in improved physical properties compared with the reference samples. Increasing the overall density of the boards led to reduced water absorption, while simultaneously causing a slight increase in thickness swelling. In contrast, increasing the proportion of hemp shives in the core layer contributed to a simultaneous reduction in both thickness swelling and water absorption, indicating a positive effect of hemp shives on the water resistance and dimensional stability of the boards under the applied test conditions.

Overall, the results confirm that hemp shives represent an effective material for the partial replacement of wood in particleboard production. Their use reduces the demand for forest resources, offers the potential to lower production costs, and enhances the environmental sustainability of lightweight boards through the rational utilization of agricultural residues, while maintaining or improving key physical properties. The findings provide a scientific basis for further optimization of material composition and processing parameters in the manufacture of lightweight particleboards using agricultural waste.

Key words: wood-based composite materials; agricultural waste; wood particles; bulk density; thickness swelling; water absorption.

¹*Pavlo Bekhta* – Full Member of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, Doctor of Technical Sciences, Professor at the Department of Wood-Based Composites, Cellulose and Paper. Ukrainian National Forestry University, 103 General Chuprynka St., Lviv, 79057, Ukraine. E-mail: bekhta@ukr.net ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4320-5247>

²*Roman Riabyshev* – Postgraduate Student, Department of Wood-Based Composites, Cellulose and Paper. Ukrainian National Forestry University, 103 General Chuprynka St., Lviv, 79057, Ukraine. E-mail: riabyshev.roman@nltu.lviv.ua ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-6391-008X>