



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

<http://fasu.nltu.edu.ua>
<https://doi.org/10.36930/412539>
Article received 2025.01.27
Article revised 2025.07.17
Article accepted 2025.09.18
Article published 2026.03.18

ISSN 1991-606X print
ISSN 2616-5015 online
@ ✉ Correspondence author
Ruslan Kozak
kozak_r@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 674.815:631.572

**Експлуатаційні властивості легких стружкових плит з вмістом
стружки стебел соняшника та міскантуса**

Р.О. Козак¹, В.С. Бірук²

Досліджено вплив стружки зі стебел соняшника та міскантуса на окремі експлуатаційні властивості легких стружкових плит (СП). Встановлено, що зі збільшенням частки стружки зі стебел соняшника в легких тришарових стружкових плитах щільністю 550 кг/м³, склеєних КФ клеєм, експлуатаційні властивості покращуються за прямолінійною залежністю. У плит зі стружкою з стебел соняшника показники водопоглинання та набрякання впродовж 2 та 24 год є меншими порівняно з контрольними плитами з деревинної стружки і становлять 69,04 та 90,62% для плит з вмістом стружки соняшника і 72,64 та 95,40% – для контрольних плит. Опір витягуванню шурупа як з пласті, так і з торця плити зростає зі збільшенням частки стружки зі стебел соняшника у структурі плити.

У плит зі стружкою стебел міскантуса показники водопоглинання та набрякання впродовж 2 та 24 год є меншими порівняно з контрольними плитами з виключно деревинної стружки і становить 65,11 та 78,65% відповідно. Опір витягуванню шурупа як з пласті, так і з торця плити зростає зі збільшенням частки стружки зі стебел міскантуса у структурі плити. Для плит з вмістом міскантуса 100% цей показник становить 954 Н при витягуванні шурупа з пласті та 917 Н – при витягуванні шурупа з торця плити.

¹ Козак Руслан Олегович – член кореспондент Лісівничої академії наук України, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри технологій деревинних композиційних матеріалів, целюлози та паперу. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. E-mail: kozak_r@nltu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1297-9810>

² Бірук Володимир Сергійович – аспірант. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. E-mail: volodymyr.biruk@nltu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-7425-0769>

Комбінування стружки зі стебел соняшника та міскантуса у середньому шарі легких тришарових СП покращує їхні експлуатаційні властивості. Порівняно з плитами, виготовленими з 100% деревинної стружки, плити, виготовлені з комбінацій деревинної стружки, стружки стебла соняшника та міскантуса, мають менші показники водопоглинання та набрякання впродовж 2 та 24 год та більші показники опору витягуванню шурупа з пластів торця плити.

Ключові слова: щільність; композитні плити; недеревинні ресурси; лігноцелюлозні матеріали; карбамідоформальдегідний клей; водопоглинання; набрякання; опір витягуванню шурупа.

Вступ (Introduction).

Деревинні композити є важливими матеріалами для будівництва, суднобудування, елементів дизайну, виробництва меблів та інших галузей. Впродовж останніх двох десятиліть світовий обсяг виробництва стружкових плит (СП), що є основним сегментом продукції цих галузей, зріс на 70 % (FAO, Database). Організація Об'єднаних Націй також прогнозує підвищення попиту на деревинні вироби в найближчі десятиліття (FAO, 2020), що композити про посилення тиску на ліси, як основне джерело сировини. Згідно зі Стратегією Європейського Союзу щодо біорізноманіття на 2030 рік та цілями сталого розвитку ООН, кількість та якість лісів, їхній захист є невід'ємною частиною поточної глобальної та регіональної політики (Moog et al., 2022). Започаткований у 2019 р. проєкт «European Green Deal» вимагає обмеження вирубки лісів та збільшення площі заповідних територій з метою пом'якшення наслідків зміни клімату (Reyer, Guerike, & Ibsch, 2009; Köhl et al., 2021; De Lombaerde et al., 2022). Ці чинники, а також зростання цін на деревину та логістичні виклики змусили виробників СП шукати альтернативні сировинні матеріали. Зменшення використання деревини за збереження обсягів виробництва та властивостей деревинних композитів означало б підвищення їх ефективності і, таким способом, допомогло б зберегти деревинні ресурси. Як результат, багато виробників деревних плит тепер пропонують варіанти з меншою щільністю як частину свого асортименту продукції (Luo et al., 2020; Kelleci et al., 2025). Ці тенденції привертають увагу виробників плит і науковців до застосування недостатньо використаних недеревних ресурсів та до впровадження нових продуктів і виробничих концепцій, які підвищують ефективність використання деревинної сировини. Виробництво легких СП з вмістом лігноцелюлозних сільськогосподарських відходів дає змогу зменшити використання деревини, знизити собівартість плит та покращити їхню екологічність (Lee et al., 2022; Ikubanni et al., 2024). Саме тому такі дослідження є особливо актуальними в країнах з малою площею лісів, серед яких і Україна.

У працях низки дослідників (Teischinger, 2010; Shalbafan, Welling, & Luedtke, 2012; Monteiro et al., 2016; Kelleci et al., 2025) зазначено, що легкі плити набувають дедалі більшої популярності серед виробників і споживачів. Вони є вигідними для меблевої галузі, оскільки поєднують знижені показники щільності, високу ефективність використання ресурсів і збалансоване співвідношення маси до міцності. Зростання попиту на легкі та екологічні меблі формує потребу в інноваційних композитних матеріалах з покращеними експлуатаційними характеристиками. У цьому контексті розвиток технологій виготовлення легких плит вважається одним із ключових чинників майбутнього розвитку меблевої промисловості.

У роботі Ikubanni et al. (2024) стверджується, що традиційно СП виробляють виключно з ділової деревини, проте зараз зростає цікавість до використання відходів і залишків, утворених в процесі сільськогосподарської діяльності як сталої альтернативи. Сільськогосподарська біомаса нагромаджується у значній кількості і може слугувати ідеальною альтернативою для виробництва стружкових плит. Недеревні ресурси у виробництві СП, серед яких пшенична солома, стебла кукурудзи (Şahinöz, Gürü, & Aruntaş, 2024), стебла перцю (Ikubanni et al., 2018), костриця коноплі (Kara, 2025), рисова солома (Luo et al., 2020), рисове лушпиння (Yasina et al., 2010), стебла бавовни (Karahana et al., 2025), стебла ріпаку (Dukarska et al., 2017) та багато інших, уже були досліджені. Ці матеріали не тільки є екологічною альтернативою традиційним джерелам деревини, але й сприяють утилізації відходів, тим самим заохочуючи до застосування екологічно стійких методів сільського господарства.

Результати попередніх досліджень свідчать, що різні види лігноцелюлозної сировини по-різному впливають на властивості СП. Так, у роботі Ye et al. (2018) описано стружкові плити, які було виготовлено з використанням діальдегідного крохмалю (DAS) як клею та стружку з кукурудзяного стебла. У певному діапазоні температур гарячого пресування, щільності плити та дозування клею вдалося досягнути покращення фізико-ме-

ханічних властивостей плит. Водночас деякі дослідження демонструють, що заміна деревини альтернативними лігноцелюлозними матеріалами може призвести до погіршення механічних характеристик плит. Подібні негативні тенденції відзначено у випадку використання жорстких або крихких аграрних відходів, які мають обмежену здатність до формування міжчастинкових зв'язків. Позитивний чи негативний вплив від лігноцелюлозних матеріалів у виробництві СП багато в чому визначається вибором конкретного виду біомаси і тому дуже важливо під час заміни деревини обирати матеріали, котрі є доступними у значних кількостях і можуть задовольнити вимоги діючих стандартів.

У роботах Klimek et al. (2016), Taş & Kul (2020), Ikubanni et al. (2024) соняшник розглядають як один з основних відновлюваних лігноцелюлозних матеріалів, який використовують не лише для виробництва олії, але й як сировину для виготовлення стружкових плит. Соняшник є швидковідновлюваною сільськогосподарською культурою, яку вирощують у великих обсягах – близько 30-35 млн тонн щорічно по всьому світу (FAO, Database). У той час, як насіння соняшника є четвертим за обсягом джерелом рослинної олії у світі, його головки, стебла та листя переважно залишаються невикористаними після збирання врожаю. Ці залишки часто спалюють у неконтрольованих умовах, що призводить до забруднення довкілля. Щороку в світі нагромаджуються значні обсяги соняшникових відходів – близько 3-7 т сухої речовини з 1 га (Fortunati et al., 2016), які можуть бути використані як вторинна лігноцелюлозна сировина для виробництва легких стружкових плит. З огляду на це, вирощування і переробка соняшника має важливе стратегічне значення для економіки країни, і цим забезпечує стабільну базу сировини у вигляді стебел соняшника для виробництва стружкових плит.

У зв'язку з удосконаленням технологій переробки відходів та проблемами глобального потепління, а також прагненням до покращення екологічних умов, використання недеревних ресурсів зросло. На сьогодні агрозалишки вже широко застосовують і переробляють на різні корисні продукти. Це, насамперед, виробництво біогазу, енергетичне паливо у вигляді ущільненої біомаси (Scarlat, Dallemand, & Fahl, 2018; Kumar, Bhaskar, & Singh, 2020) тощо. Рациональне використання цих матеріалів дає змогу покращити контроль за забрудненням навколишнього середовища та зменшити екологічні проблеми. Однак потрібно розуміти, що зростання використання стебел соняшника для виробництва композиційних матеріалів призведе до конкуренції за їх застосування. Це спричинить переведення стебел соняшника з категорії "відходів" у категорію цінної

"побічної продукції". Зважаючи на це, з метою забезпечення стабільної сировинної бази та збереження позитивного впливу від використання стружки зі стебел соняшника у виробництві легких стружкових плит, варто розглянути ідею комбінування матеріалів.

В останні десятиріччя науковий інтерес до міскантуса та його вирощування зросли завдяки високому потенціалу врожайності лігноцелюлозної біомаси та низьким вимогам до ґрунту і використовуваних добрив. У кліматичних умовах південної та центральної Європи для виробництва біомаси рекомендують насамперед генотипи *Miscanthus sinensis* та *Miscanthus giganteus*, а для північної Європи також і *Miscanthus sinensis*. Однак на сьогодні комерційно вирощують лише *Miscanthus giganteus* (Clifton-Brown et al., 2015). Листя міскантуса довге, тонке і волокнисте, воно становить значну частину свіжої біомаси (30%). Залежно від генотипу та умов вирощування, рослина досягає висоти до 4 м. За прогнозами, міскантус зможе забезпечити 5% світових потреб в енергії до 2090 р. (Shepherd et al., 2020). Завдяки цьому, вирощування і виробництво лігноцелюлозної біомаси з міскантуса набирає дедалі більше популярності в світі та Україні.

Застосування сільськогосподарських відходів у виготовленні стружкових плит має бути економічно доцільним і прибутковим. Для забезпечення прибутковості стружкових плит, виготовлених із сільськогосподарських відходів, очікується, що вироблені плити будуть відповідати або перевищувати необхідні технічні стандарти використання та зможуть забезпечити необхідний споживачу побутовий комфорт. Тому дослідження експлуатаційних властивостей легких стружкових плит з вмістом стружки зі стебел соняшника та міскантуса є *актуальними*. Завдяки використанню стружки зі стебел соняшника та міскантуса можна розширити сировинну базу, зменшити використання деревини та отримати композиційний матеріал з новими властивостями.

Мета роботи – дослідити окремі експлуатаційні властивості легких СП з стружкою з стебел соняшника та міскантуса у внутрішньому їх шарі.

Для досягнення зазначеної мети визначено такі основні *завдання дослідження*: експериментально виготовити зразки легких СП з вмістом стружки зі стебел соняшника та міскантуса, що дасть змогу визначити їх експлуатаційні властивості за стандартними методиками; встановити вплив стружки стебел соняшника на експлуатаційні властивості легких СП для визначення доцільності застосування цього матеріалу у виробництві плит; встановити вплив стружки стебел міскантуса на експлуатаційні властивості легких СП для визначення доцільності застосування цього матеріалу у виробництві плит;

встановити вплив комбінування стружки стебел міскантуса та соняшника на експлуатаційні властивості легких СП для визначення доцільності застосування цього матеріалу у виробництві плит.

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

Об'єкт дослідження – процес виготовлення легких стружкових плит з вмістом стружки стебел соняшника та міскантуса. *Предмет дослідження* – експлуатаційні властивості легких стружкових плит з вмістом стружки стебел соняшника та міскантуса.

Матеріали.

Для дослідження використовували деревинну стружку, стружку з стебел соняшника і стружку з стебел міскантуса. Деревинна стружка виготовлена з деревини хвойних (75%) та листяних (25%) порід. Походження: Українські Карпати, Івано-Франківська область, Україна. Стружка отримана з місцевого заводу виробництва стружкових плит.

Стебла соняшника та міскантуса були попередньо зібрані у Львівській області та зберігалися у сухому приміщенні. Стружка зі стебел була виготовлена шляхом обробки стебел спочатку соломорізкою, а пізніше – подрібненням у дисковому млині з діаметром отворів вихідної сітки 12 мм. Дрібну фракцію відокремлювали від отриманих частинок шляхом просіювання. Усі види стружки

висушували в сушильній шафі за температури $95\pm5^{\circ}\text{C}$ до вологості $3\pm1\%$.

Для виготовлення плит використовували карбамідоформальдегідну смолу (КФ) марки А (виробник ТОВ «Карпатсмоли», м. Калуш, Україна), карбамід (43% розчин), сульфат амонію $[(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4]$ (33% розчин) та парафінову емульсію. Смола КФ мала такі характеристики: густина 1270 кг/м^3 , вміст твердої речовини 65%, в'язкість за чашкою Форда (4 мм, 20°C) 98 с, $\text{pH} = 8,05$.

Методика виготовлення досліджуваних зразків.

Для дослідів у лабораторних умовах виготовляли тришарові СП розміром $290 \times 290 \times 16\text{ мм}$ з розрахунковою щільністю 550 кг/м^3 . Зовнішній шар (ЗШ) на 100% складався з деревинної стружки. Стружку зі стебел соняшника та міскантуса не додавали до зовнішнього шару через наявність м'якої серцевини в їх стеблах, що могло б ускладнити процес ламінування через нерівномірну твердість на поверхні плит. Тому стружку зі стебел соняшника та міскантуса додавали тільки у внутрішній шар (ВШ). Стружку міскантуса, деревинну та соняшникову у внутрішньому шарі розподіляли пропорційними частками по 25% до повного охоплення всіх можливих комбінацій за розробленою схемою (табл.).

Таблиця. Розподіл стружки за видами у внутрішньому шарі зразків легких плит
Table. Distribution of wood particles by species in the core layer of lightweight board samples

Матеріал стружки	Вміст стружки, %				
Соняшник	0	25	50	75	100
Деревина	100	75	50	25	0
Міскантус	0	0	0	0	0
Соняшник	0	25	50	75	
Деревина	75	50	25	0	
Міскантус	25	25	25	25	
Соняшник	0	25	50		
Деревина	50	25	0		
Міскантус	50	50	50		
Соняшник	0	25			
Деревина	25	0			
Міскантус	75	75			
Соняшник	0				
Деревина	0				
Міскантус	100				

Масова частка зовнішніх шарів становила 33%, середнього – 67%. Контрольні плити виготовляли виключно з деревинної стружки. Плити

виготовляли на основі 100% КФ смоли. Витрата абсолютно сухої КФ смоли становила 14 мас. % і 9 мас. % від маси абсолютно сухої стружки для

зовнішнього та внутрішнього шарів відповідно. До смоли додавали 2,3% і 0,5% розчину карбаміду та 0,2% і 0,6% сульфату амонію в перерахунку на масу сухої стружки для зовнішнього і внутрішнього шарів відповідно. Парафінову емульсію 0,8% в розрахунку на масу сухої стружки також додавали в суміш смоли.

Плити пресували за питомого тиску 2,5 МПа, температура плит преса становила 190°C, тривалість пресування – 0,37 хв/мм. Впродовж останніх 30 с циклу пресування тиск безперервно знижували до 0 МПа.

Випробування дослідних зразків.

Для визначення експлуатаційних властивостей виготовлені плити розрізали на зразки визначених розмірів згідно відповідних стандартів. Випробування були проведені згідно стандартів на щільність EN 323, водопоглинання та

набрякання по товщині EN 317 та опір витягуванню шурупа EN 320. Було виготовлено 180 зразків для дослідження водопоглинання та набрякання і 180 зразків для дослідження опору витягування шурупа з торця та плити. Виготовлені плити кондиціонували згідно умов стандарту EN 322 за температури приміщення (20 ± 2)°C, відносної вологості повітря (65 ± 5)% впродовж семи діб. Після випробувань здійснювали статистичну обробку експериментальних даних.

Результати (Results).

Залежності впливу стружки зі стебел соняшника та міскантуса на експлуатаційні властивості досліджуваних легких стружкових плит наведені на рис. 1–6. Загалом спостережено, що збільшення частки стружки зі стебел соняшника та міскантуса в середньому шарі позитивно впливає на експлуатаційні властивості плит.

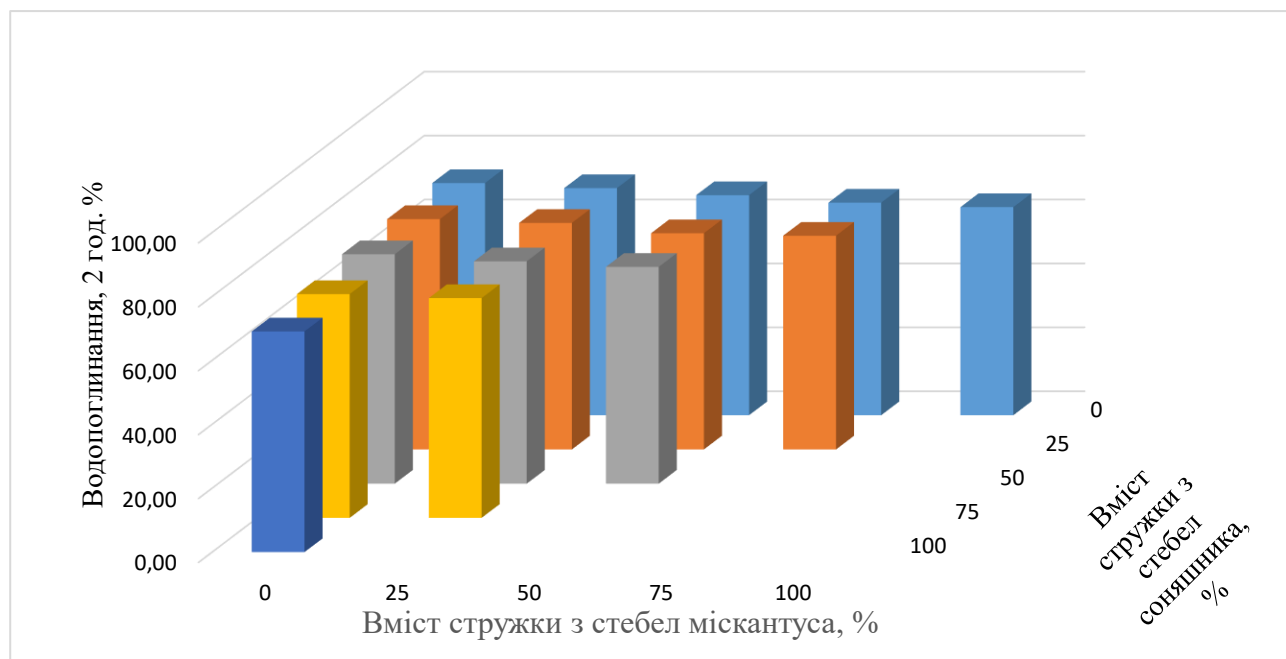


Рис. 1. Залежність водопоглинання за 2 год легких стружкових плит від вмісту в них стружки зі стебел соняшника та міскантуса

Fig. 1. Dependence of 2-hour water absorption of lightweight particleboard on the content of sunflower and miscanthus stem particles in them

Водопоглинання. У плит, виготовлених з 100% стружки зі стебел соняшника у середньому шарі, показник водопоглинання після 2 год / 24 год витримки становив 69,04% / 90,62% відповідно. Для контрольних плит, виготовлених виключно з деревинної стружки, цей показник становив 72,64% / 95,40%. Таким чином, зі збільшенням вмісту стружки зі стебел соняшника у середньому шарі легких СП щільністю 550 кг/м³, водопоглинання за 2 год / 24 год витримки зменшується і для плит з 100% стружки зі стебел соняшника. При цьому показник водопоглинання

є на 3,6% / 4,78% меншим, ніж у плит, виготовлених виключно з деревинної стружки.

У плит, виготовлених на 100% зі стружки з стебел міскантуса у середньому шарі, показник водопоглинання після 2 год / 24 год витримки становив 65,11% / 78,65% відповідно. Для легких СП щільністю 550 кг/м³ водопоглинання за 2 год / 24 год витримки зменшується зі збільшенням вмісту стружки зі стебел міскантуса у середньому шарі. Для плит, виготовлених на 100% зі стружки міскантуса в середньому шарі водопоглинання є на 7,53% / 16,75% меншим, ніж у плит, виготовлених з 100% деревинної стружки.

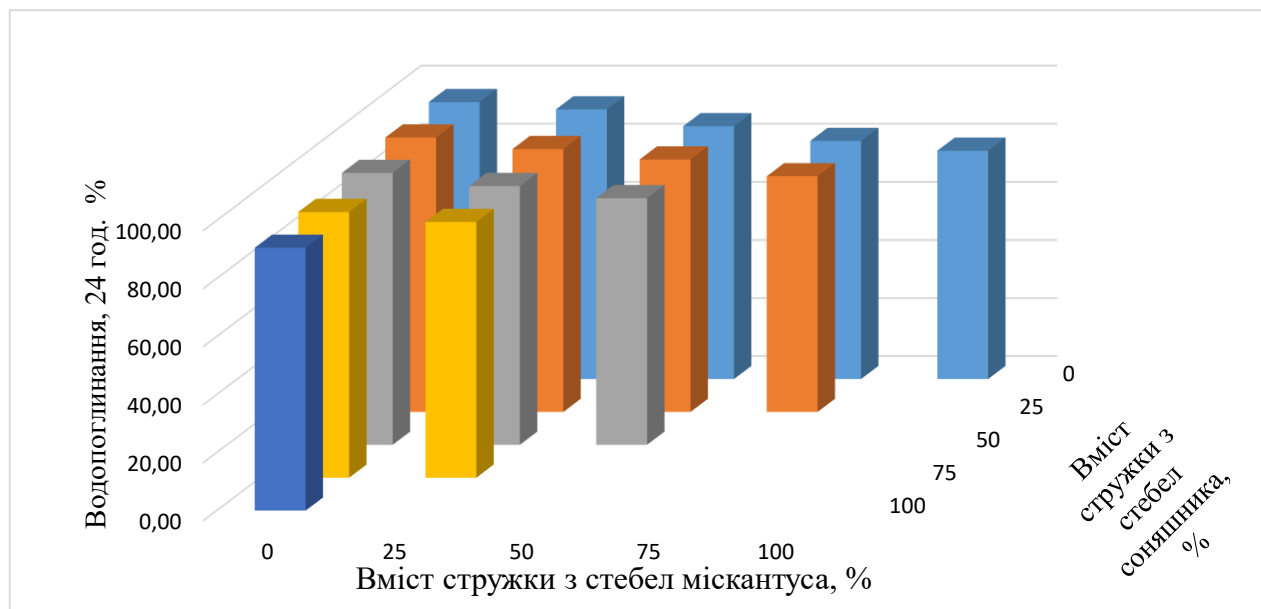


Рис. 2. Залежність водопоглинання за 24 год легких стружкових плит від вмісту в них стружки зі стебел сояшника та міскантуса

Fig. 2. Dependence of 24-hour water absorption of lightweight particleboard on the content of sunflower and miscanthus stem particles in them

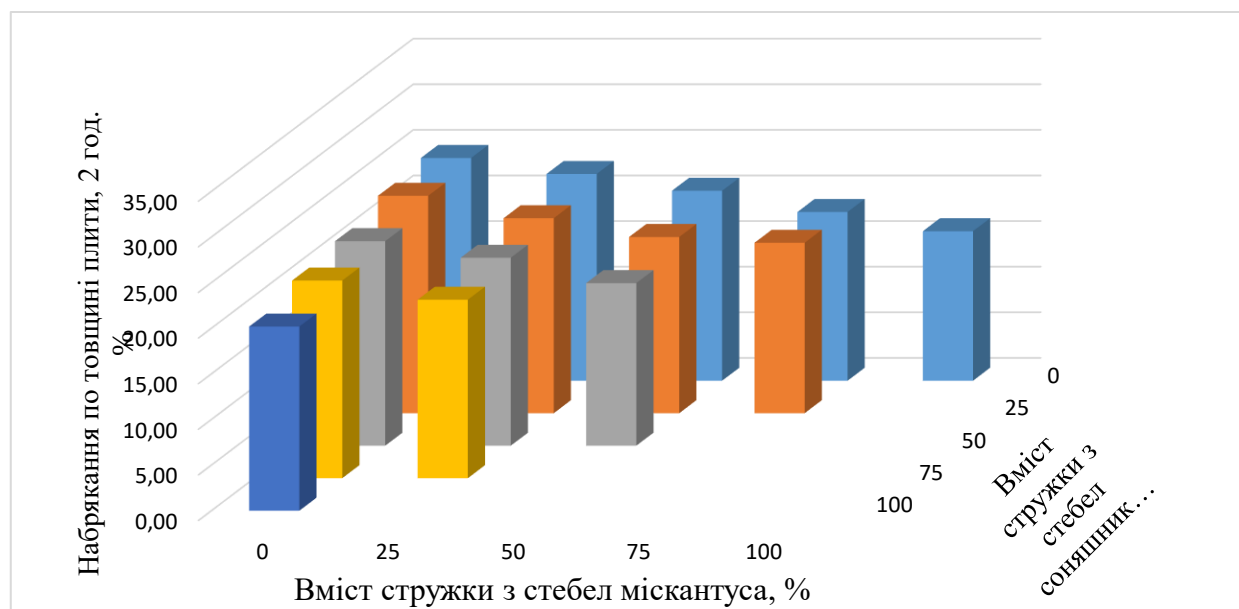


Рис. 3. Залежність набрякання за товщиною впродовж 2 год легких стружкових плит від вмісту в них стружки зі стебел сояшника та міскантуса

Fig. 3. Dependence of 2-hour thickness swelling of lightweight particleboard on the content of sunflower and miscanthus stem particles in it

У плит, виготовлених з 100% стружки зі стебел міскантуса у середньому шарі, показник набрякання за товщиною після 2 год / 24 год витримки становив 16,38% / 20,53% відповідно. Для легких СП щільністю 550 кг/м³ набрякання за товщиною впродовж 2 год / 24 год витримки зменшується зі збільшенням вмісту стружки зі стебел міскантуса у середньому шарі. Для плит, виготовлених з 100% стружки міскантуса в середньому шарі, набрякання за товщиною є на 8,03% / 9,62%

меншим, ніж у плит виготовлених з 100% деревинної стружки.

Для легких стружкових плит, виготовлених з комбінуванням стружки зі стебел сояшника, міскантуса та деревинної стружки, показник набрякання за товщиною знаходиться в межах 19,68% - 24,2% за 2-годинної витримки, та 25,60% - 31,00% за витримки впродовж 24 год. Зі збільшенням частки стружки зі стебел сояшника показник набрякання за товщиною покращується

порівняно з контрольними плитами з деревини та погіршується порівняно з плитами, виготовле-

ними з використанням стружки зі стебел міскантуса.

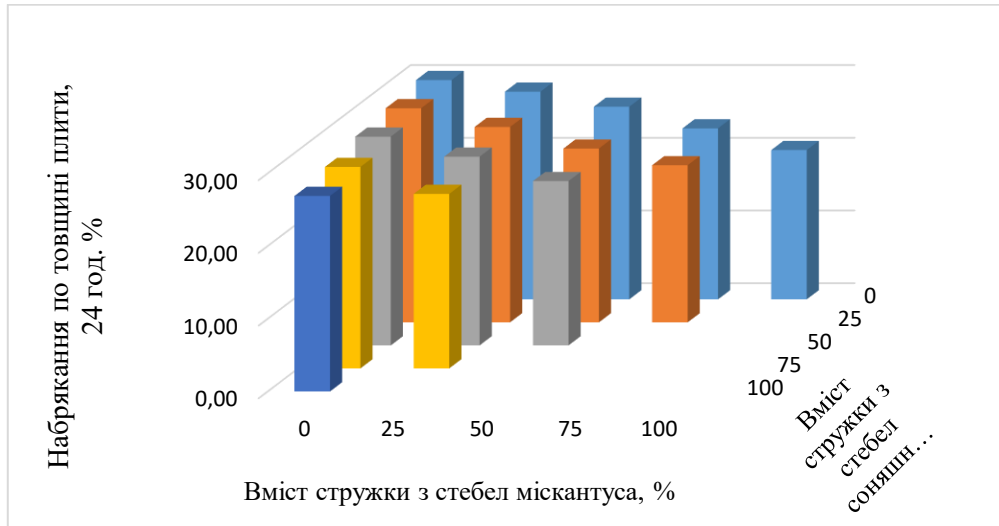


Рис. 4. Залежність набрякання за товщиною впродовж 24 год легких стружкових плит від вмісту в них стружки зі стебел соняшника та міскантуса

Fig. 4. Dependence of 24-hour thickness swelling of lightweight particleboard on the content of sunflower and miscanthus stem particles in it

Опір витягуванню шурупа з пласті плити. Значення опору витягування шурупа з пласті легкої плити з вмістом стружки зі стебел соняшника є більшим, ніж у плит, виготовлених винятково з деревинної стружки. Зі зростанням частки стружки зі стебел соняшника в плиті опір витягування шурупа з пласті плити зростає прямолинійно. У плит з 100% стружки з стебел соняшника цей показник є на 19,27% більшим, ніж у плит, на 100% виготовлених з деревинної стружки.

Значення опору витягування шурупа з пласті легкої плити з вмістом стружки зі стебел міскантуса є більшим, ніж у плит, виготовлених винятково з деревинної стружки. Зі зростанням частки

стружки з стебел міскантуса в плиті опір витягування шурупа з пласті плити зростає прямолинійно. У плит з 100% стружки з стебел міскантуса цей показник є на 16,34% більшим, порівняно з плитою із 100% деревинної стружки.

Значення опору витягування шурупа з пласті легкої плити з вмістом стружки зі стебел соняшника є більшим, ніж у плит з вмістом стружки зі стебел міскантуса. Зі зростанням частки стружки зі стебел соняшника в плиті опір витягування шурупа з пласті плити зростає прямолинійно. У плит з 100% стружки зі стебел соняшника цей показник є на 2,52% більшим, ніж у плит з 100% вмістом стружки зі стебел міскантуса.

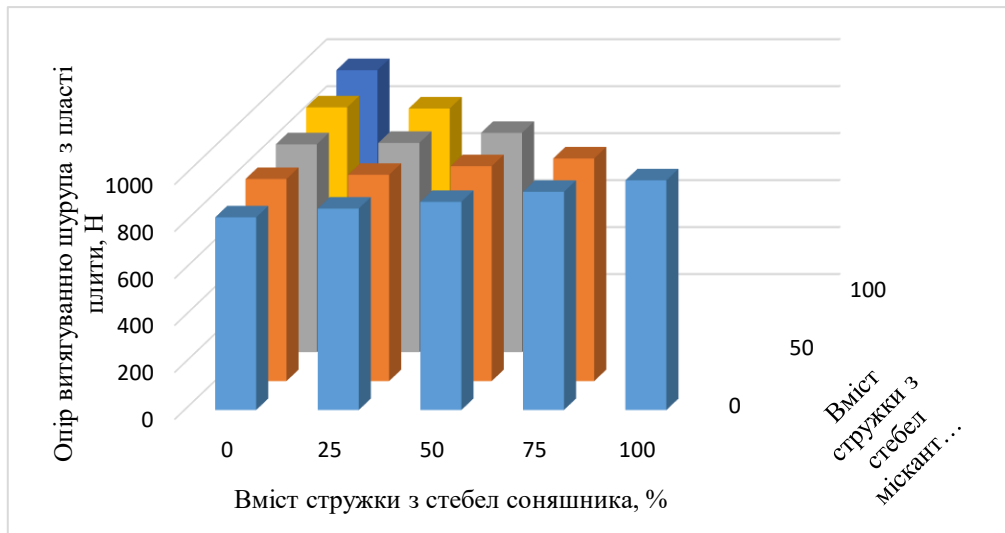


Рис. 5. Залежність опору витягування шурупа з пласті легких стружкових плит від вмісту в них стружки зі стебел соняшника та міскантуса

Fig. 5. Dependence of the resistance to screw pullout from lightweight particleboard face layer on the content of sunflower and miscanthus stem particles in them

Значення опору витягування шурупа з пластів легких плит, виготовлених з комбінуванням стружки зі стебел соняшника, міскантуса та деревинної стружки зростає зі збільшенням вмісту стружки як соняшника, так і міскантуса. Порівняно з стружковими плитами, виготовленими з 100% деревинної стружки, стружкові плити з вмістом комбінації матеріалів мають на 7,07-15,61% вищий показник опору витягування шурупа з пластів плити залежно від частки стружки кожного з них.

Опір витягуванню шурупа з торця плити. Значення опору витягування шурупа з торця легкої плити з вмістом стружки зі стебел соняшника є більшим, ніж у плит, виготовлених винятково з деревинної стружки. Зі зростанням частки стружки зі стебел соняшника в плиті опір витягування шурупа з торця плити зростає прямолінійно. У плит, виготовлених з 100% стружки зі стебел соняшника цей показник є на 27,22% більшим, ніж в плит з 100% деревинної стружки.

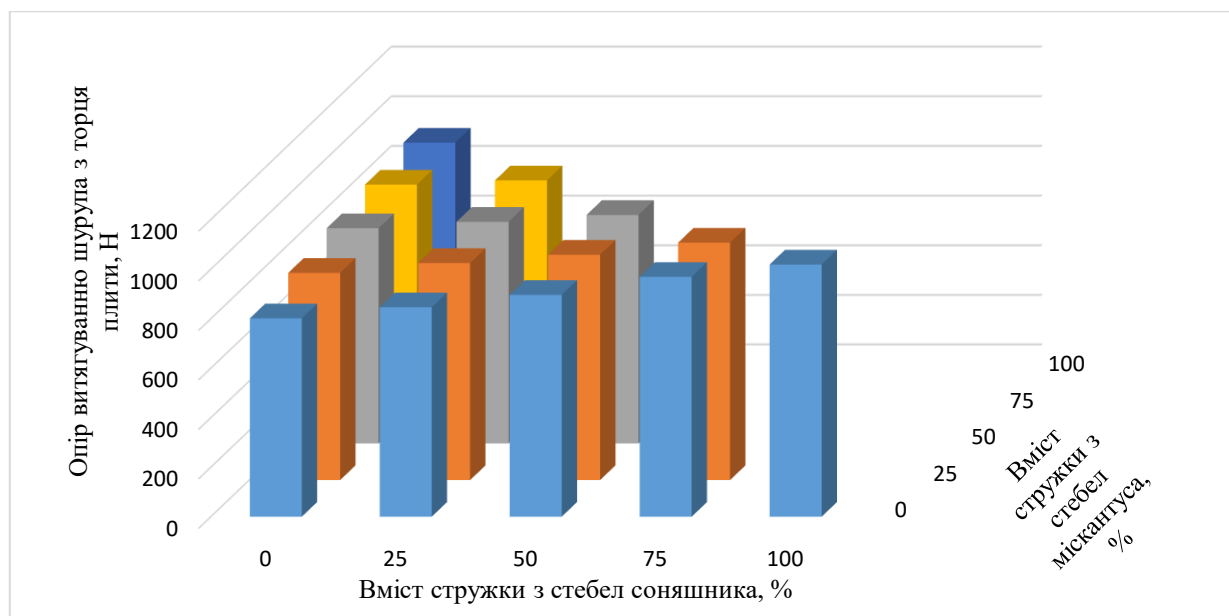


Рис. 6. Залежність опору витягування шурупа з торця легких стружкових плит від вмісту в них стружки зі стебел соняшника та міскантуса

Fig. 6. Dependence of the resistance to screw pullout from the end layer of lightweight particleboard on the content of sunflower and miscanthus stem particles in it

Значення опору витягування шурупа з торця легкої плити з вмістом стружки зі стебел міскантуса є більшим, ніж у плит, виготовлених з деревинної стружки. Зі зростанням частки стружки зі стебел міскантуса в плиті опір витягування шурупа з торця плити зростає прямолінійно. У плит, виготовлених зі 100% стружки з стебел соняшника цей показник є на 14,48% більшим, ніж у плит, виготовлених зі 100% деревинної стружки.

Значення опору витягування шурупа з торця легкої плити з вмістом стружки зі стебел соняшника є більшим, ніж у плит з вмістом стружки зі стебел міскантуса. Зі зростанням частки стружки в плиті зі стебел соняшника опір витягування шурупа з торця плити збільшується прямолінійно. У плит, виготовлених зі 100% стружки з стебел соняшника цей показник є на 11,12% більшим, ніж у плит з 100% вмістом стружки зі стебел міскантуса.

Значення опору витягування шурупа з торця легких плит, виготовлених з комбінуванням стружки зі стебел соняшника, міскантуса та деревинної стружки зростає зі збільшенням вмісту в плиті стружки як соняшника, так і міскантуса.

Порівняно з СП, виготовленими з 100% деревинної стружки, стружкові плити з вмістом комбінації матеріалів мають на 9,49 - 19,73% вищий показник опору витягування шурупа з торця плити залежно від частки стружки кожного з них.

Дискусія (Discussion).

У роботі Bekhta et al. (2023) оцінено ефективність виробництва легких стружкових плит з використанням стружки стебел соняшника. Встановлено, що заміна деревинної стружки в середньому шарі на стружку зі стебел соняшника призвела до зменшення водопоглинання та набрякання для легких стружкових плит. Незважаючи на високий вміст м'якоті, частинки стебел соняшника позитивно вплинули на властивості водопоглинання та набрякання плит за товщиною. Загалом було спостережено, що чим вища цільова щільність плит, тим нижчі значення водопоглинання після 2 та 24 год занурення. Ця залежність спостерігалася для всіх типів досліджуваних плит. У плитах, що містять 100% частинок стебел соняшника щільністю 550 кг/м³, водопоглинання через 2 і 24 год було на 28,3 і 24,6%

нижчим, ніж у плитах щільністю 350 кг/м³. Очевидно, що вода проникає в структуру легких плит з низькою щільністю і значною кількістю пор вільніше, ніж в менш пористу структуру плит з більшою щільністю. Низька пористість ускладнює дифузію в плитах з високою щільністю. Результати досліджень цієї роботи добре узгоджуються з результатами нашого дослідження.

У роботі Klímek et al. (2018) стебла міскантуса вивчали як потенційну заміну деревині у стружкових плитах. Для дослідження використовували свіжозібрані стебла міскантуса та свіжу деревину ялини. Одношарові стружкові плити з цільовою щільністю 600 кг/м³ і товщиною 11 мм були виготовлені з використанням метилендифенілдіюанату (pMDI) як клею. Звертає на себе увагу той факт, що у цій роботі набрякання за товщиною у СП з міскантуса було нижчим, ніж у ялинових СП, тоді як водопоглинання було значно вищим. Автори стверджують, що сухі частинки паренхіми в СП, виготовлених з міскантуса, поглинають воду, не набрякаючи. Пояснення полягає в тому, що паренхіма майже повністю складається з транспортних клітин, які в живій рослині відповідають за зберігання і транспортування поживних речовин, внаслідок чого вони здатні поглинати вологу без набрякання. Результати цієї роботи та нашого дослідження подібні щодо набрякання за товщиною, проте відрізняються за показником водопоглинання. Розбіжність може бути пов'язана зі структурними відмінностями досліджуваних плит. Тришарові плити мають щільні зовнішні шари, котрі перешкоджають проникненню води у структуру плити на відміну від виготовлених одношарових плит у дослідженні авторів.

У роботі Balducci et al. (2008) досліджували можливість заміни деревини у легких стружкових плитах на стружку зі стебел однорічних сільськогосподарських рослин – коноплі, соняшника, топінамбура, кукурудзи та міскантуса. Досліджували одно- і тришарові плити з різними комбінаціями цих матеріалів. Плити склеювали з використанням pMDI або танін-формальдегідної смоли. Цікавим є те, що на прикладі стебел топінамбура вивчали вплив паренхіми на властивості плит. Матеріали розділяли на вітровому зигзагоподібному просіювачі. Встановлено, що наявність легких частинок паренхіми зменшувала показник набрякання за товщиною на 2,1% порівняно з плитами, виготовленими зі стебел без відокремлення паренхіми. Плити, виготовлені зі стебел топінамбура та міскантуса, мали суттєво нижчі показники водопоглинання та набрякання за товщиною серед усіх досліджуваних однорічних рослин.

У роботі Кара (2025) досліджували механічні властивості тришарових плит, у середньому шарі яких замінювали деревинну стружку на кострицю конопель у частках 0; 10; 20 і 30% та проводили дослідження опору витягування шурупа. Плити склеювали фенолоформальдегідною смолою за температури $195 \pm 5^\circ\text{C}$ та цільовою щільністю 580 кг/м³. Додавання костриці конопель позитивно впливало на опір витягуванню шурупа. Найвищий показник мали плити з 20% вмістом костриці конопель. Порівняно з контрольними плитами, опір витягуванню шурупа для плит з 20% вмістом костриці конопель був більшим на 7,5%. Таку ж динаміку зміни цього показника отримано і в нашому дослідженні.

Комбінування стружки зі стебел соняшника та міскантуса у внутрішньому шарі дає частково нівелювати недоліки кожного з матеріалів і досягти більш збалансованого покращення властивостей плит. Подібний підхід узгоджується з концепцією оптимізації складу плитних композитів шляхом поєднання різних типів лігноцелюлозної сировини, запропонованою у дослідженнях з цієї тематики (Monteiro et al., 2016; Balducci et al., 2008).

Отже, здійснені дослідження дали змогу експериментально обґрунтувати можливість повної та часткової заміни деревинної стружки у середньому шарі легких тришарових плит стружкою стебел соняшника та міскантуса за покращення їх експлуатаційних властивостей. Результати дослідження можна використати для корегування технології виготовлення легких стружкових плит, що дасть змогу зменшити витрати деревини за рахунок використання стебел соняшника та міскантуса, знизивши таким чином екологічне навантаження на довкілля.

Висновки (Conclusions).

Досліджено вплив стружки зі стебел соняшника та міскантуса на окремі експлуатаційні властивості легких стружкових плит, що дає змогу оцінити раціональність та перспективність їх виробництва, відповідність показників діючим стандартам.

1. Зі збільшенням частки стружки зі стебел соняшника в легких тришарових стружкових плитах щільністю 550 кг/м³, склеєних КФ клеєм, експлуатаційні властивості покращуються за прямолінійною залежністю. У плит зі стружкою з стебел соняшника показники водопоглинання та набрякання впродовж 2 та 24 год є меншими порівняно з контрольними плитами з деревинної стружки і становлять 69,04 та 90,62% для плит з вмістом стружки соняшника і 72,64 та 95,40% – для контрольних плит. Опір витягуванню шурупа як з пласті, так і з торця плити зростає зі збільшен-

ням частки стружки зі стебел соняшника у структурі плити. Для плит з вмістом стружки соняшника 100% цей показник становить 978 Н при витягуванні шурупа з пластів та 1019 Н – при витягуванні шурупа з торця плити. Для плит, виготовлених на 100% з деревини, ці значення становлять, відповідно, 820 та 801 Н.

2. Зі збільшенням частки стружки з стебел міскантуса в легких тришарових стружкових плитах щільністю 550 кг/м³, склеєних КФ клеєм, експлуатаційні властивості покращуються з прямолінійною залежністю. У плит зі стружкою стебел міскантуса показники водопоглинання та набрякання впродовж 2 та 24 год є меншими порівняно з контрольними плитами з виключно деревинної стружки і становить 65,11 та 78,65% відповідно. Опір витягуванню шурупа як з пластів, так і з торця плити зростає зі збільшенням частки стружки зі стебел міскантуса у структурі плити. Для плит з вмістом міскантуса 100% цей показник становить 954 Н при витягуванні шурупа з пластів та 917 Н – при витягуванні шурупа з торця плити.

3. Наявність стружки зі стебел міскантуса у структурі плит має більший позитивний вплив на водопоглинання і набрякання, порівняно зі стружкою зі стебел соняшника. Проте стружка зі стебел соняшника забезпечує вищий опір витягуванню шурупа з пласта і торця плити порівняно зі стружкою з стебел міскантуса.

4. Комбінування стружки зі стебел соняшника та міскантуса у середньому шарі легких тришарових стружкових плит покращує їхні експлуатаційні властивості. Зі зростанням частки стружки зі стебел соняшника та міскантуса в легких стружкових плитах, склеєних КФ клеєм, експлуатаційні властивості покращуються. Порівняно з плитами, виготовленими з 100% деревинної стружки, плити, виготовлені з комбінацій деревинної стружки, стружки стебел соняшника та міскантуса, мають менші показники водопоглинання та набрякання впродовж 2 та 24 год та більші показники опору витягування шурупа з пластів і торця плити.

5. Використання стружки зі стебел соняшника та міскантуса у виробництві легких стружкових плит дає змогу скоротити споживання деревини, розширити сировинну базу, знизити екологічне навантаження на довкілля та сприяє утилізації й раціональному використанню відходів сільського господарства.

Список літератури (References)

- Balducci, F., Harper, C., Meinschmidt, P., Dix, B., & Sanasi, A. (2008). Development of innovative particleboard panels. *Drvna industrija*, 59(3), 131–136. <https://hrcak.srce.hr/29389>
- Bekhta, P., Kozak, R., Gryc, V., Pipiška, T., Sedláček, J., Reh, R., & Rousek, R. (2023). Properties of lightweight particleboard made with sunflower stalk particles in the core layer. *Industrial Crops and Products*, 205, article ID 117444. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2023.117444>
- Clifton-Brown, J. C., Hastings, A., Mos, M., McCalmont, J. P., Ashman, C., Awty-Carroll, D., & Smith, P. (2015). Progress in upscaling *Miscanthus* biomass production for the European bio-economy with seed-based hybrids. *GCB Bioenergy*, 9(1), 6–17. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12357>
- De Lombaerde, E.; Vangansbeke, P.; Lenoir, J.; Van Meerbeek, K.; Lembrechts, J.; Rodríguez-Sánchez, F. ... De Frenne, P. (2022). Maintaining Forest Cover to Enhance Temperature Buffering under Future Climate Change. *Science of The Total Environment*, 810, 151338. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151338>
- Dukarska, D., Czarnecki, R., Dziurka, D., & Mirski, R. (2017). Construction particleboards made from rapeseed straw glued with hybrid pMDI/PF resin. *European Journal of Wood and Wood Products*, 75, 175–184. <https://doi.org/10.1007/s00107-016-1143-x>
- EN 317 (1996). *Particleboards and Fibreboards – Determination of Swelling in Thickness after Immersion in Water*. European Committee for Standardization: Brussels, Belgium.
- EN 320 (2011). *Particleboards and fibreboards – Determination of resistance to axial withdrawal of screws*. European Committee for Standardization: Brussels, Belgium.
- EN 322 (1993). *Wood-Based Panels – Determination of Moisture Content*. European Committee for Standardization: Brussels, Belgium.
- EN 323 (1993). *Wood-Based Panels – Determination of Density*. European Committee for Standardization: Brussels, Belgium.
- FAO (2020). Global forest resources assessment 2020. Rome, Italy. <https://www.fao.org/interactive/forest-resources-assessment/2020/en/>
- Food and Agriculture Organization – Database. <https://www.fao.org/statistics/data-releases/en>
- Fortunati, E., Puglia, D., Luzzi, F., Santulli, C., Kenny, J. M., & Torre, L. (2016). Valorization of sunflower stalks as fillers for polypropylene composites. Carbohydrate. *Polymers*, 137, 475–485. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.11.024>
- Ikubanni, P. P., Adeleke, A. A., Adediran, A. A., & Agboola, O. O. (2018). Physico-mechanical properties of particleboards produced from locally sourced materials. *International Journal of Engineering Research in Africa*, 39, 112–118. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/JERA.39.112>

- Ikubanni, P. P., Adeleke, A. A., Adekanye, T. A., Aladegboye, O. J., Agboola, O. O., & Ogunsemi, B. T. (2024). Particleboard from biomass wastes: A review of production techniques, properties, and future trends. *Research on Engineering Structures & Materials*, 11(2), 713–740. <https://doi.org/10.17515/resm2024.265ma0502rv>
- Kara, M. E. (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>
- Kelleci, O., Köksal, S. E., Sözen, E., Kayahan, K., & Aydemir, D. (2025). Manufacturing and characterization of innovative lightweight wooden furniture from polystyrene core wood sandwich panels. *Scientific Reports*, 15, article ID 33960. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-11044-4>
- Klimek, P., Meinschmidt, P., Wimmer, R., & Plinke, B. (2016). Using sunflower (*Helianthus annuus* L.), topinambour (*Helianthus tuberosus* L.) and cupplant (*Silphium perfoliatum* L.) stalks as alternative raw materials for particleboards. *Industrial Crops and Products*, 84, 157–164. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.08.004>
- Klimek, P., Wimmer, R., Meinschmidt, P., & Kúdela, J. (2018). Utilizing Miscanthus stalks as raw material for particleboards. *Industrial Crops and Products*, 111, 270–276. doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.10.032
- Köhl, M.; Linser, S.; Prins, K.; & Talarczyk, A. (2021). The EU Climate Package “Fit for 55” – A Double-Edged Sword for Europeans and Their Forests and Timber Industry. *Forest Policy and Economics*, 132, 102596. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2021.102596>
- Kumar, A., Bhaskar, T., & Singh, R. (2020). Valorization of agricultural residues for sustainable development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 119, 109570. doi.org/10.1016/j.rser.2019.109570
- Lee, S. H., Park, H.-J., & Zhang, X. (2022). Particleboard from agricultural biomass and recycled wood waste: A review of production, properties, and sustainability. *Progress in Industrial Ecology, An International Journal*, 20(4-5), 319–336. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.07.046>
- Luo, P., Yang, C., Li, M., & Wang, Y. (2020). Manufacture of thin rice straw particleboards bonded with various polymeric methylene diphenyl diisocyanate/urea–formaldehyde resin mixtures. *BioResources*, 15, 935–944. <https://doi.org/10.15376/biores.15.1.935-944>
- Luo, S., Gao, L., & Guo, W. (2020). Effect of face layer manipulation on the density profile and properties of low-density particleboard. *Wood Research*, 65(1), 125–134. <https://doi.org/10.37763/wr.1336-4561/65.1.125134>
- Monteiro, S., Martins, J., Magalhaes, F. D., & Carvalho, L. (2016). Low density wood-based particleboards bonded with foamable sour cassava starch: Preliminary studies. *Polymers*, 8, article ID 354. <https://doi.org/10.3390/polym8100354>
- Moor, H., Eggers, J., Fabritius, H., Forsell, N., Henckel, L., Bradter, U., ... Snäll, T. (2022). Rebuilding green infrastructure in boreal production forest given future global wood demand. *Journal of Applied Ecology*, 59, 1659–1669. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.14175>
- Reyer, C., Guericke, M.; & Ibsch, P. L. (2009). Climate Change Mitigation via Afforestation, Reforestation and Deforestation Avoidance: And What about Adaptation to Environmental Change? *New Forests*, 38, 15–34. <https://doi.org/10.1007/s11056-008-9129-0>
- Şahinöz, M., Gürü, M., & Aruntaş, Y. H. (2024). Valorization of corn husk (*Zea mays*) and corn silk in polymer particleboard manufacture and effect of waste colemanite on the mechanical performance of particleboards. *Cellulose Chemistry and Technology*, 58(7–8), 819–832. <https://doi.org/10.35812/cellulosechemtechnol.2024.58.73>
- Scarlat, N., Dallemand, J.-F., & Fahl, F. (2018). Biogas: Developments and perspectives in Europe. *Renewable Energy*, 129, 457–472. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.03.006>
- Shalbafan, A., Welling, J., & Luedtke, J. (2012). Effect of processing parameters on physical and structural properties of lightweight foam core sandwich panels. *Wood Material Science & Engineering*, 8(1), 1–12. <https://doi.org/10.1080/17480272.2012.684704>
- Shepherd, A., Littleton, E. W., Clifton-Brown, J. C., Martin, M., Hastings, A., & Smith, P. (2020). Projections of global and UK bioenergy potential from *Miscanthus × giganteus*: Feedstock yield, carbon cycling and electricity generation in the 21st century. *Global Change Biology Bioenergy*, 12(4), 287–305. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12671>
- Taş, H. H., & Kul, F. M. (2020). Sunflower (*Helianthus annuus*) stalks as alternative raw material for cement-bonded particleboard. *Drvna Industrija*, 71(1), 41–46. <https://doi.org/10.5552/drind.2020.1907>
- Teischinger, A. (2010). The development of wood technology and technology developments in the wood industries – from history to future. *European Journal of Wood and Wood Products*, 68, 281–287. <https://doi.org/10.1007/s00107-010-0458-2>
- Uğur, C., & Bektaş, İ. (2024). Evaluation of some physico-mechanical properties and formaldehyde emission of ecological chipboards produced from annual residue plant stems. *Drvna industrija*, 75(3), 349–360 <https://doi.org/10.5552/drind.2024.0166>
- Verkhovna Rada of Ukraine. (2024). News on the Committee of Environmental Policy and Nature Management.

- https://www.rada.gov.ua/news/news_kom/258168.html [Верховна Рада України (2024) Новини комітету з питань аграрної та земельної політики] (In Ukrainian)
- Yasina, M., Waheed Bhutto, A., Bazmi, A., & Karim, S. (2010). Efficient utilization of rice–wheat straw to produce value-added composite products. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 1, 1–
8. https://www.researchgate.net/publication/258509387_Efficient_Utilization_of_Rice-wheat_Straw_to_Produce_Value_-added_Composite_Products
- Ye, P., An, J., Zhang, G., Wang, L., Wang, P., & Xie, Y. (2018). Preparation of particleboard using dialdehyde starch and corn stalk. *BioResources*, 13(4), 8930-8942.

Operational properties of lightweight particleboard containing sunflower and miscanthus stem particles

R. Kozak¹, V. Biruk²

The growing shortage of wood resources, increasing prices for timber, and stricter environmental regulations have stimulated intensified research into alternative raw materials for manufacturing wood-based composite products. In this context, the use of non-wood lignocellulosic biomass derived from agricultural residues represents a promising strategy for reducing wood consumption while maintaining or improving the performance of particleboards. This study investigates the operational properties of lightweight three-layer particleboards incorporating sunflower (*Helianthus annuus* L.) and miscanthus (*Miscanthus × giganteus*) stem particles as partial or complete replacement of wood particles in the core layer.

The feasibility of utilizing sunflower and miscanthus stem particles in the core layer of lightweight particleboards with a target density of 550 kg/m³ was experimentally confirmed. Three-layer boards manufactured under laboratory conditions were produced using urea–formaldehyde adhesive, with varying proportions of wood-, sunflower-, and miscanthus particles in the core layer, while the face layers consisted exclusively of wood particles. The influence of the type and proportion of non-wood lignocellulosic particles on key operational properties – namely water absorption, thickness swelling after 2 and 24 hours of water immersion, and resistance to failure of screw fasteners, that is, resistance to screw pullout from both the face and edge of the boards—was systematically evaluated according to relevant European standards.

The results demonstrate that replacing wood particles with miscanthus stem particles in the core layer significantly improves the moisture-related properties of lightweight particleboards. Boards containing miscanthus particles exhibited a reduction

in water absorption by 10–20% and thickness swelling by 8–15% compared to control boards made entirely from wood particles. In contrast, the incorporation of sunflower stem particles led to a pronounced increase in screw pullout resistance, with improvements of 12–25% observed for both face and edge pullout, which can be attributed to the specific anatomical structure and fiber morphology of sunflower stems.

Furthermore, it was found that combining sunflower and miscanthus stem particles in the core layer enables a synergistic effect, allowing the disadvantages of each of these types of raw material to be partially compensated. Such hybrid compositions provide a balanced improvement of physical and mechanical properties, simultaneously enhancing moisture resistance and fastening performance. The study confirms that appropriate combinations of agricultural residues can be effectively used to tailor the performance of lightweight particleboards.

The obtained results highlight the scientific novelty of demonstrating the possibility of partial and complete substitution of sunflower and miscanthus stem particles for wood particles in the core layer of lightweight particleboards while improving their operational properties. From a practical perspective, the proposed approach contributes to expanding the raw material base for particleboard production, reducing dependence on wood resources, and promoting the use of agricultural residues, thereby supporting sustainable and environmentally responsible composite manufacturing process.

Key words: density of particleboards; non-wood resources; lignocellulosic materials; urea-formaldehyde adhesive; water absorption; swelling; screw pull-out resistance.

¹Ruslan Kozak – Corresponding Member of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Wood Composite Materials, Pulp and Paper Technologies. Ukrainian National Forestry University, 103 General Chuprynka St., Lviv, 79057, Ukraine. E-mail: kozak_r@nltu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1297-9810>

²Volodymyr Biruk – Postgraduate student. Ukrainian National Forestry University, 103 General Chuprynka St., Lviv, 79057, Ukraine. E-mail: volodymyr.biruk@nltu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-7425-0769>