



Р. О. Козак, В. С. Бірук

Національний лісотехнічний університет України, м. Львів, Україна

МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ЛЕГКИХ СТРУЖКОВИХ ПЛИТ ІЗ ВМІСТОМ СТРУЖКИ СТЕБЕЛ СОНЯШНИКА ТА МІСКАНТУСА

Розглянуто можливість часткової та повної заміни деревинної стружки у виробництві легких стружкових плит (СП) лігноцелюлозними відходами, а саме стружкою зі стебел соняшника та міскантуса. Встановлено, що використання стружки зі стебел соняшника та міскантуса у виробництві легких стружкових плит сприяє збереженню лісових насаджень шляхом зменшення використання деревини, підвищує ресурсну ефективність виробництва та дає змогу розширити сировинну базу плитної продукції за рахунок відновлюваних біоматеріалів. Досліджено виготовлені за лабораторних умов тришарові стружкові плити щільністю 550 кг/м³ із використанням карбамідоформальдегідного (КФ) клею. Зовнішні шари плит повністю формували з деревинної стружки, а у внутрішньому шарі змінювали частку недеревних компонентів відповідно до розроблених композицій. Випробування зразків проведено за стандартами EN 310, EN 319 та EN 323. Проаналізовано міцність і модуль пружності під час статичного згинання та міцність на розтяг перпендикулярно до плити. З'ясовано вплив різного вмісту стружки соняшника та міскантуса у середньому шарі тришарових легких стружкових плит на їхні механічні властивості. Встановлено пряму лінійну залежність зростання всіх досліджуваних механічних показників плит зі збільшенням вмісту стружки зі стебел соняшника та міскантуса. Легкі стружкові плити із 100 % соняшникової стружки у середньому шарі продемонстрували приріст модуля пружності під час статичного згинання на 16,04 %, міцності під час статичного згинання – на 12,27 %, а міцності на розтяг перпендикулярно до плити – на 43,33 % порівняно з контрольними плитами з деревини. Для плит із 100 % стружки міскантуса ці показники зросли відповідно на 7,4, 6,42 і 23,33 %. Комбінування соняшника, міскантуса та деревини також забезпечило стабільне покращення властивостей: приріст модуля пружності під час статичного згинання становив 4,09-8,77 %, міцності під час статичного згинання – 2,65-9,35 %, на розтяг перпендикулярно до плити – 10-30 %. Усі виготовлені зразки відповідали вимогам ДСТУ CEN/TS 16368:2022. Доведено, що використання стружки зі стебел соняшника та міскантуса у внутрішньому шарі легких стружкових плит є ефективним шляхом зменшення частки деревини та підвищення їх екологічності без погіршення механічних властивостей. Результати дослідження підтверджують перспективність застосування цих лігноцелюлозних матеріалів як повноцінної сировини для виробництва легких стружкових плит.

Ключові слова: лігноцелюлозні матеріали; щільність стружкових плит; недеревні ресурси; карбамідоформальдегідний клей; міцність легких стружкових плит.

Вступ / Introduction

Деревина, через свої унікальні властивості та поширеність у всьому світі, вже понад 80 років є основною сировиною для виготовлення стружкових плит. Починаючи з 2018 р., світовий річний обсяг виготовлення стружкових плит перевищує 100 млн м³ і постійно зростає [8]. Очікується, що до 2029 року цей показник досягне позначки у 122 млн м³ [26]. Згідно з останнім аналітичним звітом [34], у 2023 р. світове виробництво стружкових плит стикнулося зі зростанням цін на деревину через "нестабільність у доступності сировини", що негативно вплинуло на виробничі витрати та обсяги виробництва. Через зростання попиту на деревинну сировину запаси деревини швидко вичерпуються, а відновний потенціал лісів знижується, що зумовлює збільшення вартості деревинної сировини і зменшення рента-

бельності виробництва деревинних плит [34]. Зменшення використання деревини за збереження обсягів виробництва та властивостей деревинних композитів означало б підвищення їх ефективності і, у такий спосіб, допомогло б зберегти деревинні ресурси. Як наслідок, багато виробників деревинних плит тепер пропонують варіанти з меншою щільністю як частину свого асортименту продукції [18, 25]. Ці тенденції привертають увагу виробників плит і науковців як до застосування недостатньо використаних недеревних ресурсів, так і до впровадження нових продуктів і виробничих концепцій, що підвищують ефективність використання деревинної сировини. Виробництво легких стружкових плит із вмістом лігноцелюлозних сільськогосподарських відходів дає змогу зменшити використання деревини, знизити собівартість плит та покращити їх екологічність [18, 25]. Саме тому такі дослідження є особливо акту-

Інформація про авторів:

Козак Руслан Олегович, д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри технологій деревинних композиційних матеріалів, целюлози та паперу. Email: kozak_r@nltu.edu.ua; <https://orcid.org/0000-0003-1297-9810>

Бірук Володимир Сергійович, аспірант, кафедра технологій деревинних композиційних матеріалів, целюлози та паперу. Email: volodymyr.biruk@nltu.edu.ua; <https://orcid.org/0009-0002-7425-0769>

Цитування за ДСТУ: Козак Р. О., Бірук В. С. Механічні властивості легких стружкових плит із вмістом стружки стебел соняшника та міскантуса. Науковий вісник НЛТУ України. 2025, т. 35, № 6. С. 41–48.

Citation APA: Kozak, R. O., & Biruk, V. S. (2025). Mechanical properties of lightweight particleboards with the content of sunflower and miscanthus stem particles. *Scientific Bulletin of UNFU*, 35(6), 41–48. <https://doi.org/10.36930/40350605>

альними у країнах з малою площею лісів, серед яких і Україна.

Об'єкт дослідження – виготовлення легких стружкових плит із вмістом стружки стебла соняшника та міскантуса.

Предмет дослідження – механічні властивості легких стружкових плит із вмістом стружки стебла соняшника та міскантуса, що дасть змогу оцінити перспективи впровадження такої технології у виготовленні легких стружкових плит.

Мета роботи – дослідити вплив стружки зі стебла соняшника та міскантуса на окремі механічні властивості легких стружкових плит, що дасть змогу зменшити витрати деревини, раціонально використовувати залишки сільськогосподарства, покращити екологічність та зменшити вартість плит, тобто отримати новий композиційний матеріал з унікальними властивостями.

Для досягнення зазначеної мети визначено такі основні завдання дослідження:

- експериментально виготовити зразки легких стружкових плит із вмістом стружки зі стебла соняшника та міскантуса, що дасть змогу визначити їх механічні властивості за стандартними методиками;
- встановити вплив стружки стебел соняшника на механічні властивості легких стружкових плит, що дасть змогу визначити відповідність таких плит чинним стандартам;
- встановити вплив стружки стебел міскантуса на механічні властивості легких стружкових плит, що дасть змогу визначити відповідність таких плит чинним стандартам;
- встановити експериментально механічні властивості легких стружкових плит, виготовлених з комбінуванням стружки стебел соняшника та міскантуса, що дасть змогу визначити відповідність таких плит чинним стандартам.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Згідно з даними авторів [7, 28], близько 70 % усіх деревинних плит використовують у меблевій промисловості, де зменшення ваги плит привертає дедалі більше уваги. Це відбувається з кількох причин, зокрема:

- зростання популярності меблів Flatpack;
- зниження витрат на транспортування легких плит і меблевих виробів за рахунок зменшення їх ваги;
- зниження витрат внаслідок зменшення використання сировини, потрібної для виготовлення легких плит;
- забезпечення останніх тенденцій дизайну;
- можливість застосування альтернативної сировини для виробництва;
- підвищення побутового комфорту споживачів.

У роботах [14, 24, 29, 32] стверджено, що легкі плити також мають переваги для виробників меблів через те, що одночасно мають низьку щільність, високу ефективність використання ресурсів і добре співвідношення ваги до міцності. Зростання попиту на легкі та екологічні меблі доводить нагальну потребу в інноваційних матеріалах з полішеними експлуатаційними характеристиками. У цьому контексті очікується, що такі тенденції, як виробництво легких меблів з деревинних композитних матеріалів та інновації в нових технологіях і матеріалах для покриття, будуть стимулювати розвиток ринку меблів найближчими роками.

У роботі [11] стверджують, що оскільки галузь виготовлення стружкових плит стикнулася із проблемами постачання деревини, посилення екологічних проблем та збільшення глобального попиту на деревину як сиро-

вину, пошук альтернативних природних сировинних матеріалів з відновлюваних сільськогосподарських відходів на заміну деревині є актуальним напрямом досліджень. Недеревні ресурси у виготовленні стружкових плит, серед яких стебла кукурудзи, стебла перцю, рисова солома, пшенична солома, рисове лушпиння, цукрова тростина, стебла бавовни, ріпак та багато інших, уже було досліджено [6, 10, 20, 27, 35, 36]. Нові дослідження в цій галузі зосереджені на матеріалах сільськогосподарського походження через їхні ізоляційні властивості, низьку вартість виробництва та характерні звукоізоляційні властивості [22, 30].

У роботі [15] розглядають доцільність використання тришарових деревинних стружкових плит, армованих стружкою з різного типу залишків сільськогосподарської діяльності, як стійкої та екологічної альтернативи будівельним матеріалам. У цьому огляді оцінюють функціональність таких тришарових стружкових плит, а також їх хімічні, механічні та фізичні властивості. Важливим висновком цього дослідження є те, що тришарові стружкові плити, виготовлені з використанням залишків сільськогосподарської діяльності, не тільки відповідають, але й іноді перевищують мінімальні стандарти, встановлені різними міжнародними директивами для плит загального призначення, включаючи ANSI A-208 1-1999. Це свідчить про те, що традиційна деревина як сировина може бути замінена певними органічними відходами, при цьому зберігаючи або навіть покращуючи характеристики звичайних стружкових плит. Цей прогрес має важливе значення для поліпшення структурних характеристик тришарових стружкових плит, виготовлених з агрозалишків. Це не тільки відповідає глобальним цілям сталого розвитку щодо поліпшення управління ресурсами, але і є інноваційним підходом до управління відходами в різних галузях промисловості та збереження лісів.

У роботах [3, 11, 15, 31] соняшник розглядають як один з основних відновлюваних лігноцелюлозних матеріалів, який використовується не тільки для виробництва олії, але й як перспективна сировина для виготовлення стружкових плит. Соняшник є швидковідновлюваною сільськогосподарською культурою, яку вирощують у великих обсягах (приблизно 30-35 млн метричних тонн щорічно) по всьому світу. Водночас, насіння соняшнику є четвертим за обсягом джерелом рослинної олії у світі, проте його головки, стебла та листя переважно залишаються невикористаними після збирання врожаю. Ці залишки часто спалюють за неконтрольованих умов, що призводить до забруднення довкілля. Щороку у світі нагромаджуються значні обсяги соняшникових відходів – близько 3-7 т сухої речовини з 1 га, які можуть бути використані як вторинна лігноцелюлозна сировина для виробництва легких стружкових плит.

У роботі [9] тришарові стружкові плити було виготовлено за допомогою стружки зі стебел соняшника (*Helianthus annuus* L.) та калабрійської сосни (*Pinus brutia* Ten.) у різних пропорціях. Було виявлено, що найкращі властивості плит отримано зі сумішшю частинок калабрійської сосни та стебел соняшника у пропорції 50:50. Властивості всіх виготовлених плит відповідали мінімальним вимогам до ДСП загального призначення. Це дослідження показало, що відновлювані частинки стебел соняшника та калабрійської сосни можна використовувати в різних співвідношеннях у виробниц-

тві ДСП, а отримані плити можна застосувати для загальних цілей, а також для виготовлення меблів для інтер'єрів громадських приміщень.

Згідно з даними авторів [1, 2, 27], через прагнення до поліпшення екологічних умов, а також перероблення відходів та проблеми глобального потепління, використання недеревних ресурсів зросло. Сільськогосподарські відходи уже широко використовують та перетворюються на різні корисні продукти, оскільки і енергетичне паливо у вигляді ущільненої біомаси, виробництво біогазу та багато іншого. Це пов'язано з тим, що таке використання зменшує екологічні проблеми та покращує контроль за забрудненням навколишнього середовища. Однак, сплеск використання стебел соняшника для виробництва біокompatитів призведе до конкуренції за їх використання, що спричинить зміни статусу стебел соняшника і переведення їх з категорії "відходів" у категорію цінної "побічної продукції". Зважаючи на це, задля забезпечення стабільної сировинної бази та збереження позитивного впливу від використання стружки зі стебел соняшника у виробництві легких стружкових плит, варто розглянути ідею комбінування матеріалів.

За останні десятиліття науковий інтерес до міскантуса та його вирощування зростає завдяки високому потенціалу врожайності лігноцелюлозної біомаси та низьким вимогам до ґрунту і використовуваних добрив. У кліматичних умовах південної та центральної Європи для виробництва біомаси передусім рекомендують генотипи *Miscanthus sinensis* та *Miscanthus giganteus*, а для північної Європи також рекомендують *M. sinensis*. Однак, на цей момент комерційно вирощується тільки *M. giganteus*. Рослина міскантус складається з основних морфологічних та анатомічних компонентів, які можна легко розрізнити. Листя міскантуса зазвичай довге, тонке і волокнисте, і 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 у 2090-х роках. Завдяки цьому вирощування і виробництво лігноцелюлозної біомаси з міскантуса набуває дедалі більше популярності у світі та Україні [4, 5, 12, 13, 19].

У роботі [33] досліджено можливість виготовлення волокнистих плит із стебел соняшника та міскантуса і натуральних в'язучих. Метою було отримати композитні армувальні матеріали для ізоляції в будівельній галузі. Міскантус і стебла соняшника було обрано головним чином через високий вміст волокон, низький вміст води після збирання врожаю та їх доступність. Автори стверджують, що ці критерії забезпечують хороші структурні властивості та дають змогу знизити витрати на виробництво і транспортування. Порівняно з наявними теплоізоляційними матеріалами, ці два матеріали видаються перспективними варіантами для майбутнього комерційного застосування. Їхні властивості до згинання дають змогу легко з ними працювати під час встановлення всередині будівель, а теплоізоляційні властивості знаходяться в тому ж діапазоні, що й інші матеріали середньої щільності.

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 бу-

дуть відповідати або перевищувати необхідні технічні стандарти використання [17], тому дослідження механічних властивостей легких стружкових плит із вмістом стружки зі стебел соняшника та міскантуса є актуальним. Завдяки використанню стружки зі стебел соняшника та міскантуса можна зменшити використання деревини, розширити сировинну базу та отримати новий композиційний матеріал з новими властивостями.

Проведений аналіз останніх досліджень та публікацій дав змогу зробити висновок, що ідея використання стружки зі стебел соняшника та міскантуса у виготовленні легких стружкових плит має багато позитивних аспектів для навколишнього середовища, виробників та споживачів. Проте, незважаючи на зростання популярності використання лігноцелюлозної сировини у виготовленні стружкових плит, комбінування саме стружки соняшника та міскантуса у науковій спільноті є малодослідженою концепцією. Тому для дослідження та підтвердження раціональності виробництва таких плит, було прийняте рішення вперше експериментально дослідити вплив від використання стружки зі стебел соняшника та міскантуса у середньому шарі тришарових легких стружкових плит на один з найважливіших для впровадження такої технології показників, а саме – механічні властивості легких стружкових плит.

Матеріали та методи дослідження. Для дослідження використовували деревинну стружку, стружку зі стебел соняшника і стружку зі стебел міскантуса. Деревинну стружку було виготовлено з деревини хвойних (75 %) та листяних порід (25 %). Походження деревини – Українські Карпати, Івано-Франківська область, а також деякі інші регіони України. Стружку отримано з місцевого заводу виготовлення стружкових плит.

Стебла соняшника та міскантуса було попередньо зібрано у Львівській області, Україна та зберігалися у сухому приміщенні. Стружку зі стебел було виготовлено шляхом оброблення стебел спочатку соломорізкою, а потім 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 $95^{\pm 5}$ °C до вологості $3^{\pm 1}$ %.

Для виготовлення плит використовували карбамід-формальдегідну 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, рН = 8,05.

Результати дослідження та їх обговорення / Research results and their discussion

Методика виготовлення досліджуваних зразків.

Для дослідів в лабораторних умовах виготовляли тришарові стружкові плити розміром $290 \times 290 \times 16$ мм (довжина $\times$ ширина $\times$ товщина) з розрахунковою щільністю 550 кг/м^3 . Зовнішній шар на 100 % складався з деревинної стружки. Стружку зі стебел соняшника та стружку зі стебел міскантуса не додавали до зовнішнього шару через наявність м'якої серцевини в їх стеблах. Її наявність могла б ускладнити в майбутньому процес ламінування через нерівномірну твердість на поверхні плит. Тому стружку зі стебел соняшника та міскантуса дода-

вали тільки у внутрішній шар. Пропорції деревинної та соняшникової стружки, а також стружки міскантуса у внутрішньому шарі розподіляли пропорційними частками по 25 % до повного охоплення всіх можливих комбінацій згідно з табл. 1.

Табл. 1. Розподіл стружки за видами у внутрішньому шарі зразків легких плит / Distribution of particles by type in the inner 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 винятково з деревинної стружки. Плити виготовляли на підставі 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 і 0,2 і 0,6 % сульфату амонію в перерахунку на масу сухої стружки для зовнішнього і внутрішнього шарів плити відповідно. Парафінову емульсію 0,8 % в розрахунку на масу сухої стружки також додавали в суміш смоли.

Плити пресували за питомого тиску 2,5МПа, температури плит преса 190°C. Тривалість пресування становила 0,37 хв/мм. Упродовж останніх 30 с циклу пресування тиск безперервно знижували до 0 МПа. Виготовлені плити кондиціонували згідно з умовами стандарту EN 322 за температури приміщення 20⁺² °C, відносної вологості повітря 65⁺⁵ % впродовж семи діб.

Випробування дослідних зразків. Для визначення механічних властивостей виготовлені плити розрізали на зразки визначених розмірів згідно з відповідними стандартами. Випробування було проведено відповідно до стандартів на щільність EN 323, міцність під час статичного згинання EN 310, модуль пружності під час статичного згинання EN 310, міцність під час розтягу перпендикулярно до пластів EN 319. Випробування проводились на випробувальній машині Form+Test. Після випробувань здійснювалося статистичне оброблення експериментальних даних.

Результати випробування. Графічні залежності впливу частинок стебел соняшника на механічні властивості легких стружкових плит наведено на рис. 1-3. Загалом, було помічено, що збільшення частки стружки зі стебел соняшника та міскантуса в середньому шарі позитивно впливає на механічні властивості плит.

Значення модуля пружності під час статичного згинання у легких плит із вмістом стружки зі стебел соняшника є більшим, ніж у плит, виготовлених винятково з деревинної стружки та із вмістом стружки міскан-

туса. Зі зростанням частки стружки зі стебел соняшника у плиті модуль пружності під час статичного згинання зростає прямолінійно та у плит із 100 % стружки зі стебел соняшника показник є на 16,04 % більшим, ніж у плит із 100 % деревинної стружки.

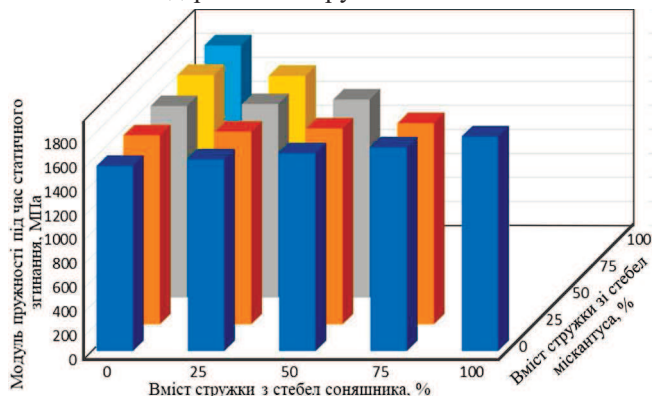


Рис. 1. Залежність модуля пружності під час статичного згинання легких стружкових плит від вмісту в них стружки зі стебел соняшника та міскантуса / Dependence of the modulus of elasticity during static bending of lightweight particleboards on their content of sunflower and miscanthus stem particles

Значення модуля пружності під час статичного згинання у легких плит із вмістом стружки зі стебел міскантуса є більшим, ніж у плит, виготовлених винятково з деревинної стружки. Зі зростанням частки стружки зі стебел міскантуса у плиті модуль пружності під час статичного згинання зростає прямолінійно та у плит із 100 % стружки зі стебел міскантуса є на 7,4 % більшим, ніж у плит із 100 % деревинної стружки.

Значення модуля пружності під час статичного згинання у легких плит із вмістом стружки зі стебел соняшника є більшим, ніж у плит, виготовлених зі стружки міскантуса. Зі зростанням частки стружки зі стебел соняшника у плиті модуль пружності під час статичного згинання зростає прямолінійно та у плит із 100 % стружки зі стебел соняшника є на 8,4 % більшим, ніж у плит із 100 % стружки з міскантуса.

Значення модуля пружності під час статичного згинання у легких плит, виготовлених з комбінуванням стружки зі стебел соняшника, міскантуса та деревинної стружки, зростає зі збільшенням вмісту стружки як соняшника, так і міскантуса. Порівняно зі стружковими плитами, виготовленими із 100 % деревинної стружки, стружкові плити із вмістом комбінації матеріалів мають на 4,09-8,77 % вищий показник модуля пружності під час статичного згинання залежно від частки стружки кожного з них.

Усі нашому досліджувані зразки відповідали вимогам ДСТУ CEN/TS 16368:2022 щодо модуля пружності під час їх статичного згинання.

Значення міцності під час статичного згинання у легких плит із вмістом стружки зі стебел соняшника є більшим, ніж у плит, виготовлених винятково з деревинної стружки. Зі зростанням частки стружки зі стебел соняшника у плиті міцність під час статичного згинання зростає прямолінійно та у плит із 100 % стружки зі стебел соняшника вказана міцність є на 12,27 % більшою, ніж у плит із 100 % деревинної стружки.

Значення міцності під час статичного згинання у легких плит із вмістом стружки зі стебел міскантуса є більшим, ніж у плит, виготовлених винятково з деревинної стружки. Зі зростанням частки стружки зі стебел

міскантуса у плиті міцність під час статичного згинання зростає прямолінійно та у плит із 100 % стружки зі стебла соняшника вказана міцність є на 6,42 % більшою, ніж у плит із 100 % деревинної стружки.

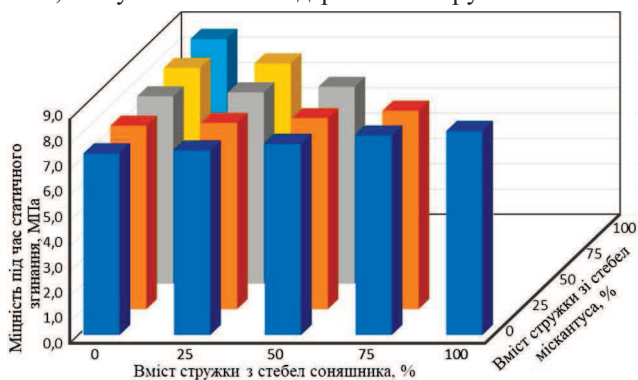


Рис. 2. Залежність міцності під час статичного згинання легких стружкових плит від вмісту в них стружки зі стебла соняшника та міскантуса / Dependence of strength during static bending of lightweight particleboard on the content of sunflower and miscanthus stem particles

Значення міцності під час статичного згинання у легких плит із вмістом стружки зі стебел соняшника є більшим, ніж у плит, виготовлених зі стружки міскантуса. Зі зростанням частки стружки зі стебла соняшника у плиті міцність під час статичного згинання зростає прямолінійно та у плит із 100 % стружки зі стебла соняшника є на 5,5 % більшим, ніж у плит із 100 % стружки з міскантуса.

Значення міцності під час статичного згинання у легких плит, виготовлених з комбінуванням стружки зі стебел соняшника, міскантуса та деревинної стружки, зростає зі збільшенням вмісту стружки як соняшника, так і міскантуса. Порівняно зі стружковими плитами, виготовленими із 100 % деревинної стружки, стружкові плити із вмістом комбінації матеріалів мають на 2,65-9,35 % вищий показник міцності під час статичного згинання залежно від частки стружки кожного з них.

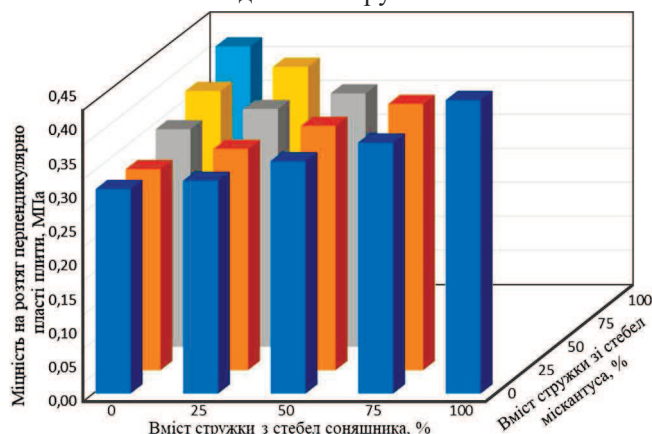


Рис. 3. Залежність міцності під час розтягу перпендикулярно до пласті легких стружкових плит від вмісту в них стружки зі стебла соняшника та міскантуса / Dependence of tensile strength perpendicular to the grain of lightweight particleboard on the content of sunflower and miscanthus stem particles

Значення міцності під час розтягу перпендикулярно до пласті легких плит із вмістом стружки зі стебел соняшника є більшим, ніж у плит, виготовлених винятково з деревинної стружки. Зі зростанням частки стружки зі стебла соняшника у плиті міцність під час розтягу перпендикулярно до пласті зростає прямолінійно та у

плит із 100 % стружки зі стебла соняшника вказана міцність є на 43,33 % більшою, ніж у плит із 100 % деревинної стружки.

Значення міцності під час розтягу перпендикулярно до пласті у легких плит із вмістом стружки зі стебел міскантуса є більшим, ніж у плит, виготовлених винятково з деревинної стружки. Зі зростанням частки стружки зі стебла міскантуса у плиті міцність під час розтягу перпендикулярно до пласті зростає прямолінійно та у плит із 100 % стружки зі стебла соняшника вказана міцність є на 23,33 % більшою, ніж у плит із 100 % деревинної стружки.

Значення міцності під час розтягу перпендикулярно до пласті у легких плит із вмістом стружки зі стебел соняшника є більшим, ніж у плит із вмістом стружки зі стебел міскантуса. Зі зростанням частки стружки зі стебла соняшника у плиті міцність під час розтягу перпендикулярно до пласті зростає прямолінійно та у плит із 100 % стружки зі стебла соняшника вказана міцність є на 16,22 % більшою, ніж у плит із 100 % вмістом стружки зі стебел міскантуса.

Значення міцності під час розтягу перпендикулярно до пласті у легких плит, виготовлених з комбінуванням стружки зі стебел соняшника, міскантуса та деревинної стружки зростає зі збільшенням вмісту стружки як соняшника, так і міскантуса. Порівняно зі стружковими плитами, виготовленими із 100 % деревинної стружки, стружкові плити із вмістом комбінації матеріалів мають на 10-30 % вищий показник міцності під час розтягу перпендикулярно до пласті залежно від частки стружки кожного з них.

Таке покращення властивостей у легких стружкових плит, виготовлених з застосуванням стружки зі стебел соняшника та міскантуса, пов'язано з їх структурними особливостями. На відміну від деревини, ці матеріали мають вищу насипну щільність, і в процесі пресування вони заповнюють порожнини у плиті, цим самим збільшуючи кількість адгезійних контактів. У виготовлених із деревини нелегких стружкових плитах щільності більші, у їх структурі менше порожнин, тому для таких плит закономірності зростання механічних властивостей зі збільшенням у їх структурі вмісту стружки соняшника та міскантуса може змінитися.

Обговорення результатів дослідження. У роботі [31] оцінили ефективність виробництва легких стружкових плит з використанням стружки зі стебел соняшника. Було виявлено, що заміна деревинної стружки в середньому шарі на стружку зі стебел соняшника призвела до покращення фізико-механічних властивостей легких стружкових плит. Тришарові плити з оптимальним поєднанням 100 % дрібної деревинної стружки у зовнішніх шарах і 100 % стружки зі стебел соняшника в середньому шарі також мали вищі показники модуля пружності під час статичного згинання, міцності під час статичного згинання та міцності під час розтягу перпендикулярно до пласті, ніж плити, виготовлені повністю із деревинної стружки. Результати, описані у цій роботі, добре узгоджуються з результатами цього дослідження.

У роботі [16] замінювали деревину для стружкових плит стружкою отриманою зі стебел міскантуса. Для плит завтовшки 11 мм і щільністю 600 кг/м³ використовували стружку ялини та свіжозібраного міскантуса. У

ролі в'язучого застосовували рMDI. Стружку висушували до 5-7 % вологості. Механічні властивості стружкових плит з міскантуса були нижчими, ніж у зразків з ялини, але плити з міскантуса відповідали вимогам до стружкових плит загального призначення в сухих умовах, як визначено в EN 312. Мікроскопічне дослідження показало, що м'які тканини паренхіми міскантуса спричиняють механічні пошкодження, які погіршують механічні властивості стружкових плит, виготовлених з міскантуса. На підставі виявлених структурно-механічних порушень автори рекомендують максимально відсортувати компоненти паренхімної тканини перед гарячим пресуванням та стверджують, що це може істотно покращити їх фізико-механічні властивості. Для цього дослідження використовували стебла міскантуса, які, після процесу збирання, близько півроку зберігалися у сухому приміщенні.

У роботі [37] автори вивчали руйнування лігнінової мережі в лігноцелюлозній сільськогосподарській сировині після збирання врожаю та зберігання внаслідок мікробного розщеплення геміцелюлози. У процесі дослідження, автори встановили, що час після збирання, впродовж якого зберігається лігноцелюлозна сировина, має істотний вплив на властивості стебел, оскільки за цей час відбуваються хімічні зміни у їх структурі. Унаслідок цих змін поверхневий восковий шар міскантуса руйнується та не перешкоджає адгезійній взаємодії поверхні з клеєм. Виявлено, що злежана сировина міскантуса позитивно впливає на властивості виготовлених з неї плит.

У роботі [21] досліджували одношарові стружкові плити з міскантуса та тришарові зі стружкою тополі у зовнішніх шарах. Було встановлено, що звичайні стружкові плити можна виготовляти із сировини міскантуса за умови використання клею рMDI, тоді як використання карбамідоформальдегідних, фенолоформальдегідних та меламіно-карбамідоформальдегідних клеїв призводить до отримання плит з низькими механічними властивостями. Усі тришарові плити було виготовлено з використанням 5,5-6 % і 4,5-5,0 % рMDI як клею у поверхневому і середньому шарах відповідно. У всіх варіантах середні шари склалися з 50 % стружки тополі і 50 % стружки міскантуса. Порівняно зі змішаними варіантами, плити з чистого міскантуса мали напорчуд хороші властивості і відповідали значенням стандарту для будівельних матеріалів DIN 68763. Також було проведено випробування, щоб з'ясувати, чи можливо виробляти стружкові плити з підвищеною міцністю на згин шляхом армування поверхневих шарів. Стружкові плити винятково з міскантуса можна ефективно армувати лляними волокнами. Механічні властивості міцності таких плит перевищували властивості звичайних стружкових плит приблизно на 50 %.

У роботі [23] досліджували легкі стружкові плити з альтернативних лігноцелюлозних рослинних матеріалів, п'яти типів біомаси багаторічних рослин з трьома частками заміщенням деревини у розмірі 30, 50 і 75 % від їх частки у плиті з номінальною щільністю 250 кг/м³. У межах аналізу виготовлених плит було досліджено механічні, хімічні та теплові властивості, викиди формальдегіду, теплоізоляція, коефіцієнт теплопередачі та теплопровідність цих плит. У разі теплопровідності стружкових плит найперспективніші з практичного погляду результати ($Wt/m \times K < 0,07$) було отримано з енергетич-

ної мальви та міскантуса, які досягли найкращих результатів за 50 % заміни. Найнижчі викиди формальдегіду було зафіксовано для комбінації матеріалів з прутподібного проса та міскантуса, що вказує на їх позитивні екологічні характеристики. Стосовно механічних властивостей, найвищу внутрішню міцність була відзначено у ДСП із 30 % заміщенням гребінчастої спартіани та міскантуса. Результати дослідження підтверджують потенціал багаторічних рослин як стійкого джерела сировини для виготовлення ізоляційних панелей і вказують на позитивний вплив стружки міскантуса на властивості плит.

Отримані результати нашого дослідження добре узгоджуються з результатами інших авторів. Стружка зі стебел соняшника, як і стружка зі стебел міскантуса, позитивно впливають на механічні властивості легких стружкових плит, склеєних КФ-клеєм. Комбінування зазначених матеріалів також демонструє позитивні результати. Усі досліджувані зразки відповідають вимогам ДСТУ CEN/TS 16368:2022. Тому використання цих матеріалів у виробництві легких стружкових плит дасть змогу зменшити використання деревини, зменшити остаточну вартість плит, зменшить екологічне навантаження на довкілля, сприятиме утилізації та раціональному використанню залишків сільського господарства і розширить сировинну базу.

Отже, внаслідок виконаної роботи можна сформулювати такі наукову новизну та практичну значущість результатів дослідження.

Наукова новизна отриманих результатів дослідження – вперше експериментально обґрунтовано можливість повної та часткової заміни деревинної стружки у середньому шарі легких тришарових плит стружкою зі стебел соняшника та міскантуса за покращення механічних властивостей; встановлено закономірність зміни модуля пружності, міцності під час згинання та внутрішньої міцності залежно від частки цих компонентів.

Практична значущість результатів дослідження – можна використати задля впровадження технології виготовлення легких стружкових плит із вмістом стружки зі стебел соняшника та міскантуса, що дає змогу задовольнити вимоги виробників та споживачів і, водночас, зменшити витрати деревини за рахунок використання залишків сільського господарства, а також покращити екологічність та зменшити остаточну їхню вартість.

Висновки / Conclusions

Досліджено вплив стружки зі стебла соняшника та міскантуса на окремі механічні властивості легких стружкових плит, що дало можливість зменшити витрати деревини, раціонально використовувати залишки сільського господарства, покращити екологічність та зменшити вартість плит, тобто отримати новий композиційний матеріал з унікальними властивостями. За результатами проведеного дослідження можна зробити такі основні висновки.

1. З'ясовано, що механічні властивості легких стружкових плит, виготовлених з використанням стружки зі стебел соняшника та міскантуса і склеєних КФ-клеєм, є більшими, ніж у легких стружкових плит з деревинної стружки, склеєних КФ-клеєм.
2. Встановлено, що зі зростанням частки стружки зі стебла соняшника в легких стружкових плит, склеєних КФ-клеєм, механічні властивості зростають прямолінійно. У плит, де внутрішній шар повністю зі стебла соняш-

ника, їхня міцність під час статичного згинання є на 12,27 % більшою від плит, де внутрішня частина повністю з деревини. Водночас модуль пружності таких плит під час статичного згинання на 16,04 % є більшим порівняно з контрольним зразком, а міцність під час розтягу перпендикулярно до пластів плити на 43,33 % є більшою від цього зразка.

3. Встановлено, що зі зростанням частки стружки зі стебла міскантуса в легких стружкових плит, склеєних КФ-клеєм, механічні властивості зростають прямолінійно. У плит із 100 % стружки зі стебла міскантуса міцність під час статичного згинання є на 5,5 % більшою, модуль пружності під час статичного згинання на 7,4 % є більшим, а міцність під час розтягу перпендикулярно до пластів плити на 23,33 % є більшою, ніж у плит із 100 % деревинної стружки.
4. Встановлено, що комбінування стружки зі стебел сояшника та міскантуса у середньому шарі легких стружкових плит збільшує їх механічні властивості. Зі зростанням частки стружки зі стебла сояшника та міскантуса в легких стружкових плит, склеєних КФ-клеєм, вказані властивості зростають. Порівняно з плитами, виготовленими зі 100 % деревинної стружки, плити, виготовлені з комбінацій деревинної стружки, стружки зі стебла сояшника та міскантуса мають більшу міцність під час статичного згинання на 2,65-9,35 %, модуль пружності під час статичного згинання на 4,09-8,77 % є більшим, а міцність під час розтягу перпендикулярно до пластів плити на 10-30 % є більшою, залежно від частки застосованих матеріалів.
5. З'ясовано, що всі досліджувані зразки відповідають вимогам ДСТУ CEN/TS 16368:2022. Використання цих матеріалів у виробництві легких стружкових плит дасть змогу зменшити використання деревини та остаточну вартість плит, знизить екологічне навантаження на довкілля, сприятиме утилізації та раціональному використанню залишків сільського господарства і розширить сировинну базу.

References

1. Adegoke, S. O., Adeleke, A. A., Ikubanni, P. P., Nnodim, C. T., Balogun, A. O., Falode, O. A., & Adetona, S. (2021). Energy from biomass and plastic recycling: A review. *Cogent Engineering*, 8, article ID 1994106. <https://doi.org/10.1080/23311916.2021.1994106>
2. Adeleke, A. A., Odusote, J. K., Ikubanni, P. P., Lasode, O. A., Malathi, M., & Paswan, D. (2021). Essential basics on biomass torrefaction, densification and utilization. *International Journal of Energy Research*, 45(2), 1375–1395. <https://doi.org/10.1002/er.5884>
3. Bekhta, P., Kozak, R., Gryc, V., Pipiška, T., Sedláčik, 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>
4. Clifton-Brown, J. C., Stampfl, P. F., & Jones, M. B. (2004). Miscanthus biomass production for energy in Europe and its potential contribution to decreasing fossil fuel carbon emissions. *Global Change Biology*, 10, 509–518. <https://doi.org/10.1111/j.1529-8817.2003.00749.x>
5. Clifton-Brown, J., Hastings, A., Mos, M., McCalmont, J. P., Ashman, C., Awty-Carroll, D., Cerazy, J., Chiang, Y. C., Cosentino, S., Cracroft-Eley, W., et al. (2016). Progress in upscaling Miscanthus biomass production for the European bio-economy with seed-based hybrids. *GCB Bioenergy*, 9, 6–17. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12357>
6. Dukarska, D., Czamecki, 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>
7. European Panel Federation. (n.d.). Types of Wood-Based Panels and their economic impact: Particleboard. URL: <https://europapanel.org/the-wood-based-panel-industry/types-of-wood-based-panels-economic-impact/particleboard/>
8. FAO. (2025). *FAOSTAT: Forestry production and trade*. URL: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/FO>
9. Guler, C., Bektas, I., & Kalaycioglu, H. (2006). The experimental particleboard manufacture from sunflower stalks (*Helianthus annuus* L.) and Calabrian pine (*Pinus brutia* Ten.). *Forest Products Journal*, 56(4), 56–60. URL: https://www.researchgate.net/publication/290840975_The_experimental_particleboard_manufacture_from_sunflower_stalks_Helianthus_annuus_L_and_Calabrian_pine_Pinus_brutia_Ten
10. 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>
11. Ikubanni, P. P., Adeleke, A. A., Adekanye, T. A., Aladeboyee, O. J., Agboola, O. O., & Ogunsemi, B. T. (2025). 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>
12. Iqbal, Y., Kiesel, A., Wagner, M., Nunn, C., Kalinina, O., Hastings, A. F. S. J., Clifton-Brown, J. C., & Lewandowski, I. (2017). Harvest time optimization for combustion quality of different Miscanthus genotypes across Europe. *Frontiers in Plant Science*, 8, article ID 727. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00727>
13. Kalinina, O., Nunn, C., Sanderson, R., Hastings, A. F. S., van der Weijde, T., Özgüven, M., Tarakanov, I., Schüle, H., Trindade, L. M., Dolstra, O., et al. (2017). Extending Miscanthus cultivation with novel germplasm at six contrasting sites. *Frontiers in Plant Science*, 8, 563. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00563>
14. Kelleci, O., Köksal, S. E., Sözen, E., et al. (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>
15. Klimek, P., Meinschmidt, P., Wimmer, R., & Plinke, B. (2016). Using sunflower (*Helianthus annuus* L.), topinambour (*Helianthus tuberosus* L.) and cup-plant (*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>
16. Klimek, P., Wimmer, R., Meinschmidt, P., & Kúdela, J. (2018). Utilizing Miscanthus stalks as raw material for particleboards. *Industrial Crops and Products*, 111, 270–276. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.10.032>
17. Lee, S. H., Lum, W. C., Boon, J. G., Kristak, L., Antov, P., Pędzik, M., Rogoziński, T., Taghiyari, H. R., Lubis, M. A. R., Fatriasari, W., Yadav, S. M., Chotikhun, A., & Pizzi, A. (2022). Particleboard from agricultural biomass and recycled wood waste: A review of production techniques, properties, and sustainability. *Journal of Materials Research and Technology*, 20, 4630–4658. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2022.08.166>
18. 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>
19. Lewandowski, I., Clifton-Brown, J., Trindade, L. M., van der Linden, G. C., Schwarz, K. U., Müller-Sämann, K., Anisimov, A., Chen, C. L., Dolstra, O., Donnison, I. S., et al. (2016). Progress on optimizing Miscanthus biomass production for the European bioeconomy: Results of the EU FP7 project OPTIMISC. *Frontiers in Plant Science*, 7, article ID 1620. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01620>
20. 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 mix-

- tures. *BioResources*, 15, 935–944. <https://doi.org/10.15376/biores.15.1.935-944>
21. 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>
 22. Mirski, R., Dziurka, D., Kuliński, M., & Derkowski, A. (2021). Lightweight Insulation Boards Based on Lignocellulosic Particles Glued with Agents of Natural Origin. *Materials*, 14(12), article ID 3219. <https://doi.org/10.3390/ma14123219>
 23. Moll, L., Wever, C., Völkerling, G., & Pude, R. (2020). Increase of Miscanthus Cultivation with New Roles in Materials Production – A Review. *Agronomy*, 10(2), article ID 308. <https://doi.org/10.3390/agronomy10020308>
 24. 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>
 25. Neitzel, N., Hosseinpourpia, R., Walther, T., & Adamopoulos, S. (2022). Alternative Materials from Agro-Industry for Wood Panel Manufacturing-A Review. *Materials (Basel, Switzerland)*, 15(13), article ID 4542. <https://doi.org/10.3390/ma15134542>
 26. Reh, R., Kristak, L., Kral, P., Pipiska, T., & Jopek, M. (2024). Perspectives on using alder, larch, and birch wood species to maintain the increasing particleboard production flow. *Polymers*, 16, article ID 1532. <https://doi.org/10.3390/polym16111532>
 27. Şahinöz, M., Gürü, M., & Yılmaz Aruntaş, 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>
 28. Shalbafan, A. (2022). Foams in wood composites. In P. K. S., M. S. S., & S. Thomas (Eds.), *Phenolic Based Foams: Gels Horizons – From Science to Smart Materials* (Chap. 16). Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-16-5237-0_16
 29. 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>
 30. Taha, I., Elkafafy, M. S., & ELMously, H. (2018). Potential of utilizing tomato stalk as raw material for particleboard. *Ain Shams Engineering Journal*, 9(4), 1457–1464. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2016.10.003>
 31. 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>
 32. 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>
 33. Vassilev, S., & co-authors (2019). Investigation of Miscanthus and sunflower stalk fiber-reinforced composites for insulation applications. *Advances in Civil Engineering*, article ID 9328087. <https://doi.org/10.1155/2019/9328087>
 34. Wood-based panel market size, share, growth, and industry analysis, by type (particleboard, MDF/HDF, hardboard, OSB, plywood, others), by application (furniture, construction, flooring, others), regional insights and forecast to 2033. (2025). URL: <https://www.marketgrowthreports.com/market-reports/wood-based-panel-market-106881>
 35. 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. URL: https://www.researchgate.net/publication/258509387_Efficient_Utilization_of_Rice-wheat_Straw_to_Produce_Value-added_Composite_Products
 36. 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. <https://doi.org/10.15376/biores.13.4.8930-8942>
 37. Zeng, Y., Lin, K.-T., Happs, R. M., Leal, J. H., Kang, X., Dou, C., Kruger, J., Ding, L., Sale, K. L., Semelsberger, T. A., Ray, A. E., Sun, N., & Donohoe, B. S. (2025). Storage-induced collapse of lignin macromolecular structure and its impacts on the biorefinery. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 13(30), 12178–12187. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.5c04284>

R. O. Kozak, V. S. Biruk

Ukrainian National Forestry University, Lviv, Ukraine

MECHANICAL PROPERTIES OF LIGHTWEIGHT PARTICLEBOARDS WITH THE CONTENT OF SUNFLOWER AND MISCANTUS STEM PARTICLES

This study explores the potential of lignocellulosic residues – specifically sunflower and miscanthus stem particles – as alternative raw materials for producing lightweight particleboards. The growing scarcity and rising cost of wood resources highlight the need for sustainable substitutes capable of maintaining or improving board performance. The research focuses on evaluating how different proportions of sunflower and miscanthus particles incorporated into the core layer of three-layer particleboards affect their mechanical behavior. Laboratory boards with a target density of 550 kg/m³ were produced using urea-formaldehyde adhesive, with wood particles retained in the face layers and lignocellulosic particles introduced exclusively into the core. Mechanical testing was conducted according to EN standards to determine bending strength, modulus of elasticity, and internal bond strength. The results show a clear, linear improvement in all mechanical indicators with increasing amounts of sunflower or miscanthus particles. Boards containing 100 % sunflower particles in the core exhibited the highest enhancement, with increases of 16.04 % in modulus of elasticity, 12.27 % in bending strength, and 43.33 % in internal bond strength compared to the all-wood control particleboards. Miscanthus-based boards also demonstrated notable gains, improving these properties by 7.4 %, 6.42 %, and 23.33 %, respectively. Hybrid compositions combining wood, sunflower, and miscanthus yielded consistent positive effects across all parameters, with increases of 4–9 % in stiffness and bending strength and up to 30 % in internal bond strength. All manufactured lightweight particleboards met the requirements of CEN/TS 16368:2022. The findings confirm that sunflower and miscanthus stem particles can serve as effective raw materials for lightweight particleboards, enabling reduced wood consumption, lower production costs, and improved environmental sustainability while enhancing the boards' mechanical performance. These residues represent a promising feedstock for expanding the resource base of the particleboard industry.

Keywords: lignocellulosic materials; particleboards density; non-timber resources; urea-formaldehyde adhesive; lightweight particleboards strength.