



Р. О. Козак, В. С. Бірук

Національний лісотехнічний університет України, м. Львів, Україна

ВЛАСТИВОСТІ ЛЕГКИХ СТРУЖКОВИХ ПЛИТ ІЗ СТРУЖКОЮ ЗІ СТЕБЕЛ СОНЯШНИКА ТА ЛІГНОСУЛЬФОНАТОМ НАТРІЮ

Оцінено доцільність виробництва легких стружкових плит (СП) з використанням стружки зі стебел соняшника (*Helianthus annuus* L.) та лігносульфонату натрію (NaLS). Встановлено, що їх застосування дасть змогу зменшити попит на деревинну сировину, зменшить остаточну вартість виготовлення легких СП і підвищить їх екологічність, дасть змогу раціонально використовувати й утилізувати залишки сільськогосподарської діяльності. Досліджено тришарові легкі СП, виготовлені з розрахунковою щільністю 550 кг/м^3 та з різною часткою деревинної стружки та стружки зі стебел соняшника (100/0 %, 75/25 %, 50/50 %, 25/75 %, 0/100 %) в середньому шарі. Для склеювання плит використано клей на основі карбамідомальдегідної (КФ) смоли (100 %), а також з її 20 % заміщенням на NaLS. Зовнішні шари у всіх видах виготовлених зразків плит містили тільки деревинну стружку. Досліджено такі механічні властивості легких СП, як міцність під час статичного згинання, модуль пружності під час статичного згинання та міцність на розтяг перпендикулярно до пластів плити. Встановлено, що заміна деревинної стружки на стружку зі стебел соняшника сприяє покращенню механічних властивостей легких СП. Відповідно, найвищі показники міцності спостережено для плит, в яких внутрішній шар містив 100 % стружки зі стебел соняшника. Це можна пояснити меншою щільністю частинок стружки зі стебел соняшника та більшою площею їх склеювання. Досліджено, що заміна 20 % КФ-клею розчином NaLS призводить до зменшення міцності виготовлених легких СП. Значення міцності під час статичного згинання зменшуються в середньому на 21 % незалежно від вмісту в СП стружки зі стебел соняшника. Значення модуля пружності під час статичного згинання зменшуються на 5,37 % для легких СП з деревинної стружки та на 9,71 % – для плит із 100 % стружки зі стебел соняшника у внутрішньому їх шарі. Значення міцності під час розтягу перпендикулярно пластів зменшуються на 6,87 % для легких СП з деревинної стружки та на 5,56 % – для плит із 100 % стружки зі стебел соняшника у внутрішньому їх шарі. Покращення механічних показників зі збільшенням частки стружки зі стебел соняшника зберігається і для легких СП, виготовлених з використанням розчину NaLS. Виготовлені зразки легких СП з використанням розчину NaLS відповідали вимогам ДСТУ CEN/TS 16368:2022 щодо міцності під час статичного згинання тільки для класу LP1, щодо модуля пружності під час статичного згинання – для класу LP1 і LP2, щодо міцності на розрив перпендикулярно пластів плити – для класу LP1 і LP2 з використанням стружки зі стебел соняшника та тільки LP1 з деревинної стружки. Отримані результати підтверджують доцільність використання стружки зі стебел соняшника як альтернативної сировини для виробництва легких СП. Заміна 20 % дороговартісного КФ-клею дешевим розчином лігносульфонату натрію є прийнятним, а покращення взаємодії між КФ-клеєм з розчином NaLS і лігноцелюлозною стружкою залишається актуальним для подальших досліджень.

Ключові слова: лігноцелюлозні матеріали; модифікування клею; щільність стружкової плити; композиційний матеріал; склеювання стружки; міцність стружкових плит.

Вступ / Introduction

Стружкові плити (СП) – це широко визнаний композитний матеріал, виготовлений гарячим пресуванням деревних частинок із синтетичною смолою. Їх цінують за свою економічність, доступність, універсальність і широке застосування в будівництві та виробництві меблів. Починаючи з 2018 р., світовий річний обсяг виробництва стружкових плит перевищує 100 млн м^3 і з ча-

сом зростає [13]. Очікують, що до 2029 р. цей показник досягне позначки у 122 млн м^3 [26]. Азія є найбільшим виробником СП, за нею слідують Європа, Америка, Африка та Океанія. У Європі такі країни, як Німеччина, Польща, Італія, Австрія та Франція, входять до складу найбільших виробників, які роблять значний внесок у світову індустрію СП. Згідно з останнім аналітичним звітом [36], у 2023 р. світове виробництво стружкових плит стикнулося зі зростанням цін на деревину через

Інформація про авторів:

Козак Руслан Олегович, д-р техн. наук, 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. Властивості легких стружкових плит із стружкою зі стебел соняшника та лігносульфонатом натрію. Науковий вісник НЛТУ України. 2025, т. 35, № 5. С. 67–74.

Citation APA: Kozak, R. O., & Biruk, V. S. (2025). Properties of light particleboards with sunflower stem particles and sodium lignosulphonate. *Scientific Bulletin of UNFU*, 35(5), 67–74. <https://doi.org/10.36930/40350508>

"нестабільність у доступності сировини", що негативно вплинуло на виробничі витрати і можливості планування [13, 14, 31].

Зростання світового попиту на деревну сировину, посилення екологічних вимог, а також нещодавні законодавчі зміни, пов'язані з використанням деревини та пріоритетністю використання деревних ресурсів [36], поставили перед галуззю виробництва деревинних плит серйозні виклики. Стратегіям, спрямованим на подолання цих проблем, надають дедалі більше уваги. Такі дослідження є особливо актуальними у країнах з малою площею лісів, серед яких і Україна. Виробництво легких СП із вмістом лігноцелюлозних сільськогосподарських відходів дає змогу значно зменшити використання деревини [25, 36].

Використання NaLS дає змогу покращити екологічність СП, оскільки, на відміну від КФ-смола, NaLS не містить формальдегіду у своїй структурі. Окрім цього, часткова заміна КФ-клею на NaLS дадуть змогу знизити собівартість виготовлення плит. Водночас, потрібно розуміти, що такі впровадження істотно впливають на властивості СП. Важливими параметрами для таких плит є показники їх фізико-механічних властивостей, оскільки під час використання такі плити повинні забезпечувати потрібну міцність та відповідати вимогам чинних стандартів [19].

Об'єкт дослідження – виготовлення легких СП із вмістом стружки зі стебла соняшника, склеєної КФ-клеєм з розчином NaLS.

Предмет дослідження – методи і засоби визначення механічних властивостей легких СП із вмістом стружки стебла соняшника, склеєної КФ-клеєм з розчином NaLS, що дасть змогу зменшити витрати в'язивного матеріалу.

Мета роботи – дослідити вплив часткової заміни КФ-смоли розчином NaLS на окремі механічні властивості легких СП із вмістом стружки зі стебла соняшника, що дасть змогу покращити екологічність СП, позаяк не містить формальдегіду у своїй структурі, а також знизити собівартість їх виготовлення.

Для досягнення зазначеної мети визначено такі основні завдання дослідження:

- експериментально виготовити зразки легких СП із вмістом стружки зі стебла соняшника, склеєних КФ-клеєм з розчином NaLS, що дасть змогу визначити їх механічні властивості за стандартними методиками;
- дослідити експериментально вплив заміщення 20 % КФ-смоли розчином NaLS на механічні властивості легких СП, що дасть змогу встановити можливість зменшення витрати КФ-клею;
- встановити вплив часткової заміни КФ-клею розчином NaLS на механічні властивості легких СП із вмістом стружки зі стебла соняшника, що дасть можливість обґрунтувати зміни в рецептурі клеїв для виготовлення легких СП із вмістом стружки зі стебла соняшника.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. За даними роботи [4], легкі деревостружкові плити стали важливим напрямом досліджень і розробок у галузі деревообробної промисловості. Оскільки виробництво СП високою мірою оптимізоване та автоматизоване, економія витрат практично може бути досягнута тільки за рахунок зниження витрат на сировину. Скорочення використання деревини за збереження обсягів виробництва та властивостей деревинних композитів означало б підвищення їх ефективності і в такий спосіб допомогло б зберегти деревинні ресурси. Як результат, бага-

то виробників деревних плит тепер пропонують варіанти з меншою щільністю плити як частину свого асортименту продукції.

У роботах [5, 6, 23] вказано, що СП низької щільності мають низку переваг над традиційними плитами високої щільності, зокрема – меншу вагу, покращену теплоізоляцію та краще піддаються обробленню. Зменшення ваги деревинних композитних матеріалів за збереження заданих їх експлуатаційних властивостей дасть змогу знизити собівартість виготовлення такої продукції, зменшити затрати на пакування, зберігання, транспортування тощо.

Згідно з даними [32], матеріали становлять 40-60 % від загальної вартості СП. Витрати на смолу становлять приблизно 30-50 % від вартості матеріалів. При цьому, в перерахунок на суху масу деревини, продукція містить тільки 2-14 % смоли. Витрати на енергію (приблизно 15-20 %), робочу силу (приблизно 5-20 %) і вартість оброблення (амортизація, технічне обслуговування тощо) плити (приблизно від 25 % до 30 %) є іншими основними компонентами собівартості. Отже, невеликі зміни в кількості смоли або вартості смоли істотно впливають на загальну ціну продукту. Інші основні матеріальні витрати – це витрати на деревну сировину (становить 86-98 % від маси плити), і з незначним внеском – на добавки та хімічні речовини. Стружка є другим за вартістю елементом після смоли у виробництві СП, де обидва елементи становить понад 50 % від загальної собівартості виготовленої продукції. Тому значного скорочення витрат можна досягти скоротивши використання саме деревинної стружки та смоли. Досягти цього можна замінивши їх більш дешевими та доступними матеріалами.

У роботі [25] стверджено, що традиційно СП виробляли винятково з ділової деревини, проте зараз зростає інтерес до використання відходів сільського господарства як сталої альтернативи. Сільськогосподарська біомаса існує у великій кількості післязбиральних та післявиробничих процесів і може слугувати ідеальною альтернативою для виробництва СП. При цьому важливо забезпечити високий рівень якості продукції згідно з чинними стандартами.

У роботі [16] досліджено, що сільськогосподарські відходи, які утворюються у процесі перероблення промислових сільськогосподарських рослин, можуть бути використані замість деревини.

Згідно з інформацією [7, 10, 22, 29, 30, 35], загальна площа сільськогосподарських культур в Україні у 2025 р. становить понад 23 млн га [35], серед яких найбільше виділено саме під вирощування соняшнику – 5,17 млн га. За останні роки Україна стала стійким виробником та експортером соняшникового насіння та олії. Вирощування та експорт олійних культур і продуктів їх перероблення є одним із головних джерел прибутку для сільськогосподарських підприємств різних форм власності. Вітчизняна олійна галузь є прикладом ефективного господарювання та розвитку, і є лідером не тільки агропромислового комплексу, але й усієї економіки за багатьма показниками, такими як рентабельність, обсяг експортної продукції, сума валютної виручки, енергоефективність. З огляду на це, вирощування і переробка соняшнику має важливе стратегічне значення для економіки країни, і цим забезпечує стабільну базу сировини у вигляді стебел соняшника для виробництва СП.

Згідно з даними роботи [33], вміст лігніну та целюлози у стеблах соняшника близький до вмісту в деревині листяних порід і дещо нижчий, ніж у деревині хвойних порід. Наявність смол, жирів, восків і пентозанів у стеблах соняшника подібна до листяних і хвойних порід деревини. Вміст целюлози та геміцелюлози у стеблах соняшника є вищим (61,9 %), ніж у хвойній деревині (50,8-60,8 %) і нижчим, ніж у деревині листяних порід (59,0-77,0 %). Зважаючи на подібність хімічного складу стебел соняшника та деревини й обсяги вирощування в Україні та світі, використання його стебел, як сировини у виробництві СП, може стати екологічними [34] та економічними перевагами [17].

Згідно з даними робіт [3, 11, 24], у сучасному виробництві деревних композиційних матеріалів основними класами термореактивних клеїв залишаються амінопластові, фенольні та ізоціанатні смоли. Ці клеї успішно використовують упродовж десятиліть завдяки своїм технічним властивостям, що забезпечують міцність, стабільність і довговічність деревинних плит. За статистичними даними, приблизно 95 % усіх клеїв, які застосовують для виготовлення деревинних композицій, є формальдегідвмісними смолами, серед яких карбамідоформальдегідні (КФ) смоли є найпоширенішими. Щорічне споживання КФ-смол оцінюється в понад 11 млн т, що зумовлено низкою технологічних та економічних переваг. Популярність КФ-смол пояснюють їх доступною ціною, високою реакційною здатністю, хорошою адгезією до деревини, простотою у використанні в широкому діапазоні технологічних умов, швидким пресуванням, низькою температурою затвердіння, розчинністю у воді, а також утворенням безбарвного шва, що не погіршує зовнішнього вигляду готових виробів. Такі характеристики зробили КФ-смоли основними для виробників стружкових, волокнистих та інших плит на підставі деревини.

Однак, у роботі [12] стверджують, що незважаючи на переваги, карбамідоформальдегідні клеї мають серйозний недолік – вивільнення вільного формальдегіду та летких органічних сполук під час експлуатації готових плит. Формальдегід є токсичною речовиною, яка може спричиняти подразнення очей, шкіри, слизових оболонок, дихальних шляхів і навіть сприяти розвитку онкологічних захворювань, таких як лейкемія. Висвітлення цієї проблеми в науковій літературі та засобах масової інформації стало поштовхом до розроблення нових регуляторних обмежень щодо емісії формальдегіду в країнах Європейського Союзу, США, Японії та інших розвинених державах. Ще одним важливим фактором, який ставить під сумнів довготривале використання традиційних формальдегідних смол, є їх залежність від невідновлюваних ресурсів нафтового походження. В умовах енергетичних криз, зростання цін на нафту та геополітичної нестабільності така залежність може мати значний економічний і екологічний вплив. Тому наукова спільнота активно досліджує можливості заміни традиційних клеїв на екологічно безпечніші альтернативи з відновлюваних джерел.

Останніми роками особливу увагу привертають біосмоли, зокрема – ті, що базуються на лігніні – природному полімері, який є другим за поширеністю після целюлози компонентом лігноцелюлозної біомаси. Лігнін утворює до 30 % маси деревини і є цінним побічним продуктом целюлозно-паперової промисловості,

зокрема – під час сульфітного та крафт-процесів. Його використання не тільки дає змогу знизити залежність від нафтових ресурсів, але й сприяє утилізації відходів, що відповідає принципам кругової економіки. Завдяки своїй фенольній структурі, лігнін володіє низкою властивостей, придатних для застосування у клеях для деревини: високою термічною стабільністю, гідрофобністю, хімічною реакційною здатністю та здатністю до утворення міцних зв'язків з деревними субстратами. Окрім цього, деякі типи лігніну мають вузький розподіл молекулярної маси (низьку полідисперсність), що полегшує контроль над властивостями отриманих смол. Як наслідок, продукти на основі лігніну розглядають як перспективну альтернативу традиційним формальдегідвмісним клеям під час виготовлення стружкових плит та інших типів деревних композитів [20, 24].

З аналізу наявних досліджень випливає, що зниження щільності СП, заміна деревинної сировини відходами сільськогосподарства, пошук дешевих малоформальдегідних клейових композицій збільшить конкурентоспроможність СП. Однак, знання про властивості легких СП із вмістом стружки зі стебел соняшника та частковою заміною КФ-клею розчином лігносульфонату натрію є обмеженими та вимагають досліджень.

Матеріали та методи дослідження. У дослідженні використовували деревинну стружку і стружку зі стебел соняшника. Деревинну стружку (походження: Українські Карпати, Івано-Франківська область, Україна) отримано з місцевого заводу виробництва стружкових плит. Виготовлено з деревини хвойних (75 %) та листяних порід (25 %).

Стебла соняшника було зібрано у Львівській області, Україна. Частинки стебел соняшника були виготовлені у спосіб оброблення стебел спочатку соломорізкою, а потім подрібненням у молотковому млині. Від отриманих частинок відокремлювали дрібну фракцію у спосіб просіювання. Усі види стружки висушували в сушильній шафі за температури 85^{+5} °C до вологості 3^{+1} %.

Для виготовлення плит використовували карбамідоформальдегідну смолу 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, pH = 8,05, час гелеутворення 50 с.

Результати дослідження та їх обговорення / Research results and their discussion

Методика виготовлення досліджуваних зразків. Для дослідів у лабораторних умовах було виготовлено тришарові СП розміром $290 \times 290 \times 16$ мм (довжина $\times$ ширина $\times$ товщина) з розрахунковою щільністю 550 кг/м^3 . Зовнішній шар (ЗШ) на 100 % складався з деревинної стружки. Стружку зі стебел соняшника не додавали до зовнішнього шару через наявність м'якої серцевини у стеблі. Її наявність могла б створити нерівномірну твердість на поверхні плит та ускладнити в майбутньому процес ламінування. Тому стружку зі стебел соняшника додавали тільки у внутрішній шар (ВШ). Пропорції деревинної та соняшникової стружки у внутрішньому шарі становили 100/0 %, 75/25 %, 50/50 %, 25/75 % та 0/100 %. Масова частка зовнішніх шарів становила 33 %, середнього – 67 %. Контрольні плити виготовля-

ти винятково з деревинної стружки. Плити виготовляли на основі 100 % КФ-смоли та з використанням клею, що містив 20 % NaLS. Для плит, виготовлених 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. Додавання водного розчину NaLS (50 %) базувалося на заміні 20 % за сухим залишком КФ-смоли у клеї, що використовували у зовнішніх і внутрішньому шарах. 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 відповідно. Парафінову емульсію 0,8 % в розрахунку на масу сухої стружки також додавали у суміш смоли (таблиця).

Таблиця. Рецепти клеїв, використані для виготовлення зразків легких СП / Glue recipes used to make lightweight particleboard samples

Компонент	Вміст компонентів клею для шару СП			
	ЗШ		ВШ	
Вміст NaLS, %	0	20	0	20
Маса р-ну смоли, г	42	33,6	85,28	68,22
Маса р-ну NaLS, г	-	10,92	-	22,17
Вода, г	10,88		1,19	
Затверджувач, г	0,92		4,86	
Карбамід, г	6,3		1,26	
Парафінова емульсія, г	0,18		0,37	

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

Випробування дослідних зразків. Виготовлені плити розрізали на зразки визначених розмірів згідно з відповідними стандартами. Випробування було проведено згідно із стандартами на щільність EN 323, міцність та модуль пружності під час статичного згинання EN 310, міцність внутрішнього зв'язку EN 319. Випробування здійснювали на випробувальній машині Form+Test. Після випробувань здійснювали статистичне оброблення експериментальних даних.

Результати випробування. Графічні залежності впливу вмісту стружки зі стебел соняшника та розчину лігносульфонату натрію в легких СП на їх механічні властивості наведено на рис. 1-3.

Значення міцності під час статичного згинання (див. рис. 1) у легких плит з використанням стружки зі стебел соняшника є більшими, ніж у легких плит з деревинної стружки. Зі зростанням частки стружки зі стебел соняшника в плиті міцність під час статичного згинання зростає прямолінійно та у плит із 100 % стружки зі стебел соняшника вказана міцність є на 8,22 % більшою, ніж у плит із 100 % деревинної стружки. Усі зразки легких СП, як з деревинної стружки, так і з різним вмістом стружки зі стебел соняшника, виготовлені без використання NaLS, щодо міцності під час статичного згинання відповідали вимогам ДСТУ CEN/TS 16368: 2022 для класу LP1 та LP2. Отримані залежності добре узгоджуються з результатами дослідження [3]. Аналогічна залежність зберігалася для легких СП, виготовлених з використанням розчину NaLS. Значення міцності під час статичного згинання в легких плит з 100 %

стружки зі стебел соняшника та з розчином NaLS є на 11,03 % більшою, ніж у плит із 100 % деревинної стружки та з розчином NaLS.

Однак, заміна 20 % КФ-клею розчином NaLS знижує міцність під час статичного згинання легких СП, виготовлених як із вмістом стружки зі стебел соняшника, так і з деревинної стружки. Значення зменшуються в середньому на 21 % незалежно від вмісту в СП стружки зі стебел соняшника. Виготовлені зразки легких СП з використанням розчину NaLS щодо міцності під час статичного згинання відповідали вимогам ДСТУ CEN/TS 16368:2022 тільки для класу LP1.

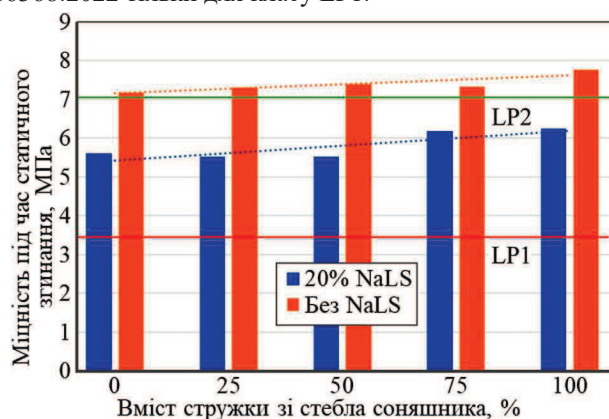


Рис. 1. Залежність міцності легких стружкових плит під час статичного їх згинання від вмісту в них стружки зі стебел соняшника та розчину лігносульфонату натрію / Dependence of the strength of lightweight chipboards during their static bending on the content of sunflower stalk chips and sodium lignosulfonate solution

Значення модуля пружності під час статичного згинання (див. рис. 2) у легких плит з використанням стружки зі стебел соняшника є більшими, ніж у легких плит з деревинної стружки. 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 він на 11,86 % є більшим, ніж у плит із 100 % деревинної стружки. Схожі результати отримали автори в дослідженні [2] – модуль пружності під час статичного згинання збільшувався на 16,6 %.

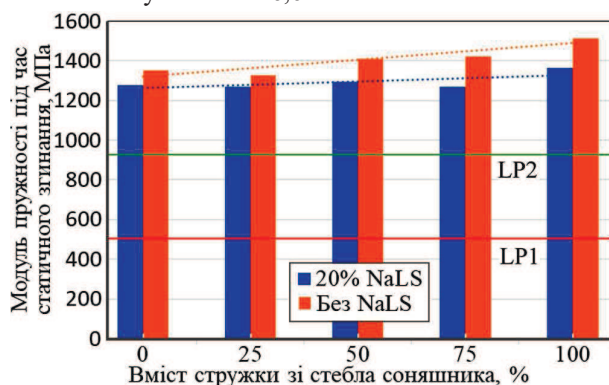


Рис. 2. Залежність модуля пружності легких стружкових плит під час їх статичного згинання від вмісту в них стружки зі стебел соняшника та розчину лігносульфонату натрію / Dependence of the modulus of elasticity of lightweight chipboards during their static bending on the content of sunflower stalk chips and sodium lignosulfonate solution

Аналогічна залежність зберігалася для легких СП, виготовлених з використанням розчину NaLS. Значення модуля пружності під час статичного згинання у легких

плит із 100 % стружки зі стебла соняшника та з розчином NaLS є на 6,73 % більшою, ніж у плит із 100 % деревинної стружки та з розчином NaLS.

Заміна 20 % КФ-клею розчином NaLS знижує модуль пружності під час статичного згинання легких СП, виготовлених як із вмістом стружки зі стебла соняшника, так і з деревинної стружки. Значення зменшуються на 5,37 % для легких СП з деревинної стружки та на 9,71 % – для плит із 100 % стружки зі стебла соняшника у внутрішньому їх шарі. У дослідженні [3] для плит із 100 % вмістом деревинної стружки у середньому шарі, заміна 20 % КФ-клею розчином NaLS спричинила зниження показника модуля пружності на 5,6 %, що добре узгоджується з результатом, отриманим у цьому дослідженні. Усі зразки легких СП, як з деревинної стружки, так і з різним вмістом стружки зі стебла соняшника, виготовлені, як з використанням розчину NaLS, так і без нього, щодо модуля пружності під час статичного згинання відповідали вимогам ДСТУ CEN/TS 16368:2022 для класу LP1 та LP2.

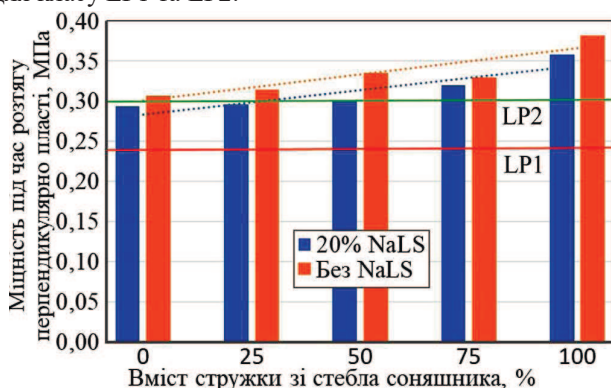


Рис. 3. Залежність міцності легких стружкових плит під час їх розтягу перпендикулярно до пластів від вмісту в них стружки зі стебла соняшника та розчину лігносульфонату натрію / Dependence of the strength of lightweight chipboards during their tension perpendicular to the formation on the content of sunflower stalk chips and sodium lignosulfonate solution

Значення міцності на розтяг перпендикулярно до пластів плити (див. рис. 3) у легких СП з використанням стружки зі стебел соняшника є більшими, ніж у легких СП з деревинної стружки. У літ зростанням частки стружки зі стебла соняшника у плиті міцність на розтяг перпендикулярно до пластів плити зростає прямолінійно та у плит із 100 % стружки зі стебла соняшника вказана міцність є на 22,58 % більшою, ніж у плит із 100 % деревинної стружки. Усі зразки легких СП, як з деревинної стружки, так і з різним вмістом стружки зі стебла соняшника, виготовлені без використання NaLS, щодо міцності під час розтягу перпендикулярно до пластів плити відповідали вимогам ДСТУ CEN/TS 16368:2022 для класу LP1 та LP2. Аналогічна залежність зберігалася для легких СП, виготовлених з використанням розчину NaLS. Значення міцності на розтяг перпендикулярно до пластів легких плит із 100 % стружки зі стебла соняшника та з розчином NaLS є на 24,14 % більшою, ніж у плит із 100 % деревинної стружки та з розчином NaLS.

Заміна 20 % КФ-клею розчином NaLS знижує міцність легких СП на розтяг перпендикулярно до пластів, виготовлених як із вмістом стружки зі стебла соняшника, так і з деревинної стружки. Значення зменшуються на 6,87 % для легких СП з деревинної стружки та на 5,56 % – для плит із 100 % стружки зі стебла соняшника у внутрішньому їх шарі. Усі виготовлені зразки легких

СП з використанням розчину NaLS щодо міцності на розтяг перпендикулярно до пластів плити відповідали вимогам ДСТУ CEN/TS 16368:2022 для класу LP1. Зразки легких СП з вмістом стружки зі стебел соняшника та з розчином NaLS щодо міцності на розтяг перпендикулярно до пластів плити відповідали вимогам ДСТУ CEN/TS 16368:2022 і для класу LP2.

Обговорення результатів дослідження. У дослідженні [21] оцінено можливість часткової заміни меламінскарамідформальдегідної (МФ) смоли лігносульфонатами та оцінено їхній вплив на фізичні та механічні властивості плит. СП було виготовлено з використанням смоли МФ з частковою заміною лігносульфонатом натрію (NaLS) або лігносульфонатом магнію (MgLS) у концентраціях 10, 20 та 30 % за вагою. Контрольні плити також було виготовлено з використанням 100 % смоли МФ для порівняння. Результати показали, що як тип, так і пропорція лігносульфонату істотно впливали на фізичні та механічні характеристики плит. Зокрема, вміст лігносульфонату мав помітний негативний вплив на міцність на розтяг перпендикулярно до пластів, міцність на згин та розбухання за товщиною. Навпаки, тип лігносульфонату істотно впливав тільки на міцність на розтяг перпендикулярно до пластів. Плити, що містили 10 % NaLS, демонстрували властивості, які можна порівняти з контрольними зразками. Окрім цього, плити із вмістом NaLS за фізико-механічними показниками загалом перевершували ті, що містили MgLS, хоча відмінності не були статистично значущими. СП із вмістом 10 або 20 % NaLS або MgLS, хоча й демонстрували нижчу міцність на розтяг перпендикулярно до пластів, міцність під час згинання та модуль пружності, ніж контрольні плити, відповідали критеріям експлуатаційних характеристик для плит типу P2, призначених для внутрішнього застосування (включаючи меблі) у сухих умовах, як зазначено в EN 312. Зазначені авторами залежності добре узгоджуються з отриманими результатами. Однак, через меншу реакційну здатність КФ-смол, порівняно з МФ-смолами, отримані механічні показники СП були дещо нижчими, як зазначено в роботі [21].

У дослідженні [9] автори заміняли фенолформальдегідну смолу (ФФ) модифікованим органосольвним лігніном. Отримані значення середньої міцності на розтяг перпендикулярно до пластів (ІВ) були нижчими, ніж у роботі [21]. Зокрема, вони спостерігали 20 % зниження міцності ІВ у СП, склеєних смолою ФФ, що містить 30 % лігніну, порівняно із плитами, склеєними немодифікованою ФФ-смолою. Незважаючи на отримані результати, автори роботи [9] дійшли висновку, що органосольвний лігнін може ефективно замінити 20-30 % фенолу в ФФ-клеях, що використовуються для виробництва СП, без істотного зниження міцності з'єднання.

У роботі [18] наведено особливості розроблення епоксидних смол, модифікованих лігноцелюлозною біомасою, для виготовлення ізоляційних матеріалів. Автори вважають, що використання біомаси привертає увагу через проблему глобального потепління та виснаження запасів нафти. Лігноцелюлоза є одним з основних матеріалів біомаси, яка складається з лігніну та целюлози, є основним компонентом деревини. Вони розробили біопластик на підставі епоксидної смоли, отриманий з лігноцелюлозних матеріалів, з точки зору не тільки екологічності, але й функціонального вдоскона-

лення. У своєму дослідженні автори описують вплив додавання похідних лігноцелюлози на властивості епоксидної смоли. Поєднання термобіологічної попереднього оброблення в термофільних умовах створює синергетичний ефект, який пришвидшує виробництво метану соломомою завдяки цукровим сполукам, що вивільняються під час біогенного каталізу [8]. Необхідні подальші дослідження, щоб пов'язати хімічний склад та динаміку мікробного різноманіття під час інкубації за допомогою молекулярно-біологічних методів для з'ясування ролі мікроорганізмів та кращого розуміння їхніх механізмів під час інкубації, що використовується в анаеробному розщепленні.

У роботі [28] автори досліджували вплив температури пресування та концентрації лігносульфонату кальцію на властивості волокнистих плит і дійшли висновку, що, очевидно, NaLS погано активується під час зв'язування з волокном. Через схожість залежностей ці висновки можна перенести і на стружку деревинну та зі стебла соняшника під час виготовлення легких СП. Окрім цього, на зниження механічних показників отриманих легких СП може впливати підвищене утворення пари та газу під час їх пресування, що пов'язано з вищим вмістом води, яку додають у стружкову масу з розчином лігносульфонату. Це зазначали автори [27] під час дослідження впливу вмісту лігносульфонату на механічні властивості волокнистих плит середньої щільності.

Отримані результати дослідження добре узгоджуються з результатами інших авторів. Заміна 20 % КФ-клею на розчин NaLS дещо знижує механічні властивості легких СП, як із деревинної стружки, так і зі стружки зі стебла соняшника. Однак, через сувору конкуренцію серед виробників у собівартості СП, заміна 20 % дороговартісного КФ-клею дешевим розчином лігносульфонату натрію є прийнятним, оскільки легкі СП відповідають вимогам ДСТУ CEN/TS 16368:2022, а покращення взаємодії між КФ-клеєм з розчином NaLS і лігноцелюлозною стружкою залишається актуальним.

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

Наукова новизна отриманих результатів дослідження – розроблено методику експериментального визначення механічних властивостей легких СП із вмістом стружки зі стебел соняшника та частковою заміною карбамідоформальдегідного клею розчином лігносульфонату натрію, що дало змогу покращити екологічність СП, позаяк не містить формальдегіду у своїй структурі, а також знизити собівартість їх виготовлення.

Практична значущість результатів дослідження – виготовлені легкі СП із вмістом стружки зі стебел соняшника та частковою заміною карбамідоформальдегідного клею розчином лігносульфонату натрію відповідають за механічними властивостями вимогам стандарту, що дасть змогу розширити сировинну базу їх виготовлення шляхом використання відходів сільськогосподарства та зменшити витрати КФ-клею.

Висновки / Conclusions

Досліджено вплив часткової заміни КФ-смоли розчином NaLS на окремі механічні властивості легких СП із вмістом стружки зі стебла соняшника, що дало змогу покращити екологічність СП, позаяк не містить формальдегіду у своїй структурі, а також знизити собівартість їх виготовлення.

За результатами проведеного дослідження можна зробити такі основні висновки:

1. З'ясовано, що механічні властивості у легких стружкових плит, склеєних КФ-клеєм з використанням стружки зі стебел соняшника, є більшими, ніж у легких СП, склеєних КФ з деревинної стружки. Зі зростанням частки стружки зі стебла соняшника в легких СП, склеєних КФ-клеєм, механічні властивості зростають прямолінійно. У плит із 100 % стружки зі стебла соняшника міцність під час статичного згинання є на 8,22 % більшою, модуль пружності під час статичного згинання на 11,86 % є більшим, а міцність на розтяг перпендикулярно до пластів плити на 22,58 % є більшою, ніж у плит із 100 % деревинної стружки. Усі зразки таких плит відповідали вимогам ДСТУ CEN/TS 16368:2022 для класу LP1 та LP2.
2. Встановлено, що механічні властивості у легких СП, склеєних сумішшю КФ-клею та розчином NaLS з використанням стружки зі стебел соняшника, є більшими, ніж у легких СП, склеєних сумішшю КФ-клею та розчином NaLS з деревинної стружки. Зі зростанням частки стружки зі стебла соняшника в легких СП, склеєних сумішшю КФ-клею та розчином NaLS, механічні властивості зростають прямолінійно. У легких СП, склеєних сумішшю КФ-клею та розчином NaLS із 100 % стружки зі стебла соняшника, міцність під час статичного згинання є на 11,03 % більшою, модуль пружності під час статичного згинання на 6,73 % є більшим, а міцність плити на розтяг перпендикулярно до пластів на 24,14 % є більшою, ніж у плит із 100 % деревинної стружки.
3. Досліджено, що заміна 20 % КФ-клею розчином NaLS знижує механічні властивості легких СП, виготовлених як із вмістом стружки зі стебла соняшника, так і з деревинної стружки. Значення міцності під час статичного згинання зменшуються в середньому на 21 % незалежно від вмісту в СП стружки зі стебла соняшника. Значення модуля пружності під час статичного згинання зменшуються на 5,37 % для легких СП з деревинної стружки та на 9,71 % – для плит з 100 % стружки зі стебла соняшника у внутрішньому їх шарі. Значення міцності на розтяг перпендикулярно до пластів зменшуються на 6,87 % для легких СП з деревинної стружки та на 5,56 % – для плит з 100 % стружки зі стебла соняшника у внутрішньому їх шарі. Виготовлені зразки легких СП з використанням розчину NaLS відповідали вимогам ДСТУ CEN/TS 16368:2022 щодо міцності під час статичного згинання тільки для класу LP1, щодо модуля пружності під час статичного згинання – для класу LP1 і LP2, щодо міцності на розтяг перпендикулярно пластів плити – для класу LP1 і LP2 з використанням стружки зі стебел соняшника та тільки LP1 з деревинної стружки.
4. Проаналізовано, що через сувору конкуренцію серед виробників у собівартості СП, заміна 20 % дороговартісного КФ-клею дешевим розчином лігносульфонату натрію є прийнятною, оскільки легкі СП відповідають вимогам ДСТУ CEN/TS 16368:2022, а покращення взаємодії між КФ-клеєм з розчином NaLS і лігноцелюлозною стружкою залишається актуальним для подальших досліджень.

References

1. Balea, G., Lunguleasa, A., Zeleniuc, O., & Coşereanu, C. (2022). Three adhesive recipes based on magnesium lignosulfonate, used to manufacture particleboards with low formaldehyde emissions and good mechanical properties. *Forests*, 13(5), article ID 737. <https://doi.org/10.3390/f13050737>
2. Bekhta, P., Kozak, R., Gryc, V., Pipiška, T., Sedláčik, J., Reh, R., Ráhel, J., & Rousek, R. (2023). Properties of lightweight particleboard made with sunflower stalk particles in the core layer. *In-*

- dustrial Crops and Products*, 205, article ID 117444. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2023.117444>
3. Bekhta, P., Noshchenko, G., Réh, R., Kristak, L., Sedliačik, J., Antov, P., Mirski, R., & Savov, V. (2021). Properties of Eco-Friendly Particleboards Bonded with Lignosulfonate-Urea-Formaldehyde Adhesives and pMDI as a Crosslinker. *Materials* (Basel), 14(17), article ID 4875. <https://doi.org/10.3390/ma14174875>
4. Benthien, J. T., Lüdtke, J., & Ohlmeyer, M. (2019). Effect of increasing core layer particle thickness on lightweight particleboard properties. *European Journal of Wood and Wood Products*, 77, 1029–1043. <https://doi.org/10.1007/s00107-019-01447-7>
5. Boruszewski, P., Borysiuk, P., Jankowska, A., & Pazik, J. (2022). Low-density particleboards modified with expanded and unexpanded fillers – Characteristics and properties. *Materials*, 15, article ID 4430. <https://doi.org/10.3390/ma15134430>
6. Boruszewski, P., Borysiuk, P., Jankowska, A., & Pazik, J. (2022). Low-density particleboards modified with blowing agents – Characteristics and properties. *Materials*, 15, article ID 4528. <https://doi.org/10.3390/ma15134528>
7. Boyko, S. M. (2005). *Export potential of the sunflower seed market and processing productivity in Ukraine*. [CSc thesis, National Agricultural University]. Academic texts of Ukraine. URL: <https://uacademic.info/en/document/0405U002601>
8. Bursche, J., Rieker, C., & Beuel, P. (2019). Lignocellulosic Biorefineries: Adding compost improves the biogenic catalysis of wheat straw. 2019 *International Energy and Sustainability Conference* (IESC), Farmingdale, NY, USA, pp. 1–6. <https://doi.org/10.1109/IESC47067.2019.8976852>
9. Çetin, N. S., & Özmen, N. (2002). Use of organosolv lignin in phenol-formaldehyde resins for particleboard production: II. Particleboard production and properties. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 22(6), 481–486. [https://doi.org/10.1016/S0143-7496\(02\)00058-1](https://doi.org/10.1016/S0143-7496(02)00058-1)
10. Chekhova, I. V., & Chekhov, S. A. (2016). Analysis of production of oily crops in zone of steppe. *Bulletin of Agricultural Science*, 94(11), 72–77. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201611-13>
11. Dunky, M. (2003). Adhesives in the wood industry. In A. Pizzi & K. L. Mittal (Eds.), *Handbook of Adhesive Technology* (2nd ed., p. 71). Marcel Dekker, Inc.
12. Eco-friendly, high-density fiberboards bonded with urea-formaldehyde and ammonium lignosulfonate. *Polymers*, 14(2), article ID 321. URL: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7827569/>
13. FAO. (2025). *FAOSTAT: Forestry production and trade*. URL: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/FO>
14. Hua, L. S., Chen, L. W., Geng, B. J., Kristak, L., Antov, P., Pędzik, M., Rogoziński, T., Taghiyari, H. R., Lubis, M. A. R., & Fatriasari, W. (2022). Particleboard from agricultural biomass and recycled wood waste: A review. *Journal of Materials Research and Technology*, 20, 4630–4658. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2022.04.109>
15. 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 in Engineering Structures and Materials*, 11(2), 713–740. <https://doi.org/10.17515/resm2024.265ma0502rv>
16. Khojasteh-Khosro, S., Shalbafan, A., & Thoemen, H. (2020). Preferences of furniture manufacturers for using lightweight wood-based panels as eco-friendly products. *European Journal of Wood and Wood Products*, 78(3), 593–603. <https://doi.org/10.1007/s00107-020-01546-0>
17. 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*, 1, 157–164. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.02.032>
18. Komiya, G., et al. (2011). Development of epoxy resins modified with lignocellulosic biomass for insulating materials. *Proceedings of 2011 International Symposium on Electrical Insulating Materials*, Kyoto, Japan, pp. 532–532. <https://doi.org/10.1109/ISEIM.2011.6826398>
19. Kozak, R. O., & Biruk, V. S. (2025). Formaldehyde content in lightweight particleboards with sunflower stalk shavings bonded with lignosulfonate-urea-formaldehyde adhesive. *Proceedings of the XV International Scientific and Practical Conference (Technology of Wood Processing and Furniture Manufacturing)*. Chemihiv Polytechnic. 22-23 may 2025. Part 1, 172–173. [In Ukrainian]. URL: https://drive.google.com/file/d/1Lg5F4IEpuJ_dOI0to-uc6sNKm7fj8vvZ/view?pli=1
20. Lignin and lignin-derived compounds for wood applications-A review. *Polymers*, 13(9), article ID 1561. URL: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8123713/>
21. Lytvyn, I., Bekhta, N., Kusniak, I., Bekhta, P., & Sedliačik, J. (2025). Properties of Particleboards with Partial Replacement of MUF Resin by Sodium and Magnesium Lignosulfonates. *Wood Research*, 70(3), 456–469. <https://doi.org/10.37763/wr.1336-4561/70.3.456469>
22. Melikh, O. O., & Pasmenko, N. V. (2015). Current state and directions of development of the sunflower-oil market in Ukraine. *Economy of Food Industry*, 7(3), 83–94. <https://doi.org/10.15673/2312-847x.3/2015.51384>
23. Mirski, R., Dziurka, D., Kuliński, M., & Derkowski, A. (2021). Lightweight insulation boards based on lignocellulosic particles glued with agents of natural origin. *Materials*, 14, article ID 3219. <https://doi.org/10.3390/ma14113219>
24. Pizzi, A., Papadopoulos, A. N., & Policardi, F. (2020). Wood composites and their polymer binders. *Polymers*, 12, article ID 1115. <https://doi.org/10.3390/polym12051115>
25. Regulation (EU) 2023/1115 on deforestation-free products (EUDR). *Official Journal of the European Union*. URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2023/1115/oj>
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. Savov, V., & Mihajlova, J. (2017). Influence of the content of lignosulfonate on mechanical properties of medium density fiberboard. *ProLigno*, 13(4), 252–256. URL: https://www.proligno.ro/en/articles/2017/4/SAVOV_2.pdf
28. Savov, V., Simeonov, T., & Mihajlova, J. (2020). Engineering the properties of eco-friendly medium density fibreboards bonded with lignosulfonate adhesive. *Drvna industrija*, 71(2), 157–162. <https://doi.org/10.5552/drind.2020.1968>
29. Serhienko, A. V. (2022). State of sunflower production in the Northern Steppe of Ukraine. *Tavriya Scientific Bulletin. Series: Agricultural Sciences*, 128, 183–188. <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2022.128.25>
30. Shevchenko, A., Petrenko, O., & Helas, V. (2024). Strategic development of sunflower cultivation in Ukraine: Challenges and prospects. *Economic Bulletin of the Black Sea Region*, 5, 133–145. <https://doi.org/10.37000/ebbsl.2024.05.11>
31. Sun, S. J., & Liu, L. Q. (2021). Literature review on research and application of hollow particleboards. *Chinese Journal of Wood Science and Technology*, 35. <https://doi.org/10.12326/j.2096-9694.2020069>
32. Technological performance of formaldehyde-free adhesive alternatives for particleboard industry. (2019). *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 94, 99–131. <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2019.01.002>
33. Trembus, I. V. (2016). Wrapping paper from the stems of sunflower. *Young Science*, 3, 280–284. URL: <https://molodyvcheny.in.ua/files/journal/2016/3/64.pdf>
34. Vanova, R. (2021). Influence of carbon accounting on assessment of wood-based products. *Acta Facultatis Xylogiae Zvolen*, 2, 143–152. <https://doi.org/10.17423/afx.2021.63.2.12>
35. Verkhovna Rada of Ukraine. (2024). *News on the Committee of Environmental Policy and Nature Management*. URL: https://www.rada.gov.ua/news/news_kom/258168.html
36. 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. URL: <https://www.marketgrowthreports.com/market-reports/wood-based-panel-market-106881>

PROPERTIES OF LIGHT PARTICLEBOARDS WITH SUNFLOWER STEM PARTICLES AND SODIUM LIGNOSULPHONATE

This study investigates the potential use of sunflower stem particles (*Helianthus annuus* L.) and sodium lignosulfonate (NaLS) in the production of lightweight particleboards. The research focuses on the effects of substituting wood particles with sunflower stem particles in the core layer, as well as the partial replacement of urea – formaldehyde (UF) resin with an aqueous NaLS solution on the mechanical properties of the boards. Three-layer lightweight particleboards with a target density of 550 kg/m³ were manufactured using various ratios of sunflower stem and wood particles in the core layer (0-100 %). Bonding was performed either with pure UF resin or with a resin mixture containing 20 % NaLS solution. The mechanical properties evaluated included bending strength, modulus of elasticity, and internal bond strength. The results revealed that partial or complete substitution of wood particles with sunflower stem particles enhanced the mechanical performance of lightweight boards. The highest mechanical values were obtained for boards whose core consisted entirely of sunflower stem particles. The incorporation of NaLS into the UF resin resulted in a moderate reduction in strength and stiffness (approximately 5-20 %), most likely due to the dilution effect and weaker cross-linking within the adhesive matrix. The lightweight particleboards bonded with NaLS-modified UF resin met the requirements of DSTU CEN/TS 16368:2022 for bending strength under static load only for class LP1; for modulus of elasticity under static bending for classes LP1 and LP2; and for internal bond strength perpendicular to the board surface for classes LP1 and LP2 when sunflower stem particles were used, and for class LP1 only when wood particles were used. The findings confirm the feasibility of using sunflower stem particles as an alternative raw material for manufacturing lightweight particleboards. Replacing 20 % of the costly UF resin with low-cost sodium lignosulfonate is feasible, while improving the interaction between the UF – NaLS adhesive system and lignocellulosic particles remains an important topic for future research.

Keywords: lignocellulosic materials; glue modification; particleboard density; composite material; gluing particles; particleboard strength.