

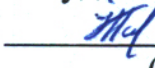
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ЛІСОТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ

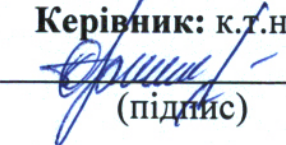
Навчально-науковий інститут деревообробних технологій та дизайну

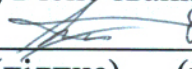
Кафедра технологій деревинних композиційних матеріалів,  
целюлози та паперу

УДК 630\*816.2

**Пояснювальна записка**  
до дипломної роботи магістра на тему:  
**Можливість використання відходів  
текстильного виробництва у деревинно-  
полімерних матеріалах плоского способу  
пресування**

Виконав: студент групи ТДКМ-61м  
 Петлюк І.Г.  
(підпис)

Керівник: к.т.н., доцент ТДКМ  
 Ортинська Г.Є.  
(підпис)

Рецензент: к.т.н., доц. каф. МЛС і ДББ  
(посада, вчене звання, науковий ступінь)  
 Журав З.П.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ ЛІСОТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ

Навчально-науковий інститут деревообробних технологій і дизайну .  
Кафедра технологій деревинних композиційних матеріалів, целюлози та паперу .  
Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр .  
Спеціальність 161 Хімічні технології та інженерія .

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач 

д.т.н., проф. Козак Р.О.

“22” грудня 2025 року

**ЗАВДАННЯ  
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Петлюку Ігору Генадійовичу .

1. Тема роботи Можливість використання відходів текстильного виробництва у деревинно-полімерних матеріалах плоского способу пресування к.т.н., доцент ТДКМ Ортинська Галина Євгенівна. .

затверджені наказом університету від “28” жовтня 2024 року № С-846 .

2. Термін подання студентом роботи 22.12.2025 р. .

3. Вихідні дані до роботи. Проаналізувати екологічні аспекти утворення текстильних волокон, навести характеристику волокон, проаналізувати попередні дослідження із застосуванням текстильних відходів. Розробити рецептури виготовлення ДПМ. Дослідити основні властивості деревинно-полімерних матеріалів виготовлених плоским способом пресування із застосуванням текстильних відходів. .

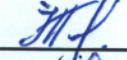
1. Стан питання та завдання дослідження .


2. Методика експериментальних досліджень .

3. Результати експериментальних досліджень .

4. Висновки та рекомендації .

5. Дата видачі завдання 25.07.2024 р. .

Студент  Петлюк І.Г. .  
(підпис)

Керівник роботи  Ортинська Г.Є. .  
(підпис)

## АНОТАЦІЯ

У дипломній роботі магістра на тему «Можливість використання відходів текстильного виробництва у деревинно-полімерних матеріалах плоского способу пресування», проаналізовано можливість, розроблено рецептури деревинних полімерних матеріалів та досліджено їх властивості.

Дипломна робота магістра складається з трьох розділів.

У першому розділі проаналізовано екологічні аспекти утворення відходів текстильного виробництва та умови їх утилізації. Проаналізовано волокна текстильних відходів та наведено їх основні властивості. Розглянуто шляхи застосування відходів текстильного виробництва у виготовленні деревинних полімерних матеріалів.

У другому розділі наведено методику проведення експериментальних досліджень, а також методики щодо визначення основних властивостей деревинних полімерних матеріалів.

У третьому розділі приведено результати експериментальних досліджень. Описано вплив вмісту текстильних волокон на властивості деревинних полімерних матеріалів виготовленої на їх основі.

Також наведено висновки та рекомендації, список використаної літератури та додатки.

Загальний обсяг дипломної роботи складає 63 сторінки, з них 43 сторінок основного тексту, список літератури із 66 назв та 1 додатку.

Ключові слова:, деревинно-полімерні матеріали, властивості, текстильні відходи, .

## ЗМІСТ

		Стор.
	ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ		7
1.1.	Екологічні аспекти утворення текстильних відходів	7
1.2.	Аналіз текстильних волокон для виготовлення ДПМ	11
1.3.	Основні властивості текстильних волокон	15
1.4.	Використання текстильних волокон у виробництві ДПМ	17
1.5.	Висновки	20
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ		22
2.1	Матеріали та обладнання, використані в експериментальних дослідженнях	22
2.2.	Вибір змінних факторів та методика планування експериментів	23
2.3.	Процес виготовлення деревино-текстильно-полімерних плит	25
2.4.	Визначення межі міцності та модуля пружності під час статичного згинання	26
2.5.	Визначення щільності	28
2.6.	Визначення набрякання за товщиною	29
2.7.	Статистична обробка результатів експериментів	31
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ		35
3.1.	Вплив складу деревинно-полімерної композиції на межу міцності та модуль пружності ДПМ під час статичного згинання	35
3.2.	Вплив складу деревинно-полімерної композиції на фізичні властивості ДПМ	38
ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ.		42
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ		44
ДОДАТКИ		52

## ВСТУП

Проблема накопичення відходів полімерних матеріалів, деревини та текстильних волокон є одним із ключових екологічних викликів сучасності. Полімерні відходи посідають провідне місце серед забруднювачів довкілля через великий обсяг утворення, низьку здатність до біодеградації та значне споживання природних ресурсів під час їх виробництва. Деревинні відходи та текстильні волокна також формують значні потоки відходів: вирубування лісів спричиняє виснаження природних екосистем, а залишки деревини та текстилю здебільшого спалюють або захоронюють, що призводить до втрати ресурсів та додаткового забруднення.

У світлі глобальної тенденції до раціонального використання ресурсів та зменшення обсягів відходів у багатьох країнах світу активно впроваджуються технології повторного використання матеріалів. Зростання попиту на альтернативи первинній сировині стимулює розвиток матеріалів, що дозволяють замкнути ресурсний цикл відповідно до концепції «від колиски до колиски». У цьому контексті особлива увага приділяється деревинним полімерним матеріалам (ДПМ), що виготовляються зі змішаних деревних відходів та полімерних матеріалів.

Використання текстильних відходів, зокрема натуральних (бавовна, льон, вовна), розширює можливості формування багатокомпонентних композитів. Вторинна переробка текстильних відходів є важливим напрямом екологічно орієнтованого розвитку, оскільки сприяє скороченню промислових залишків, зменшенню техногенного навантаження на довкілля та раціональному використанню природних ресурсів. Текстильні волокна можуть покращувати механічні властивості композиту, а також сприяти утилізації значних потоків текстильного сміття, яке традиційно є складним у переробці.

Таким чином, застосування подрібненої деревини та текстильних волокон як наповнювачів у полімерних композитах є перспективним напрямом для зменшення обсягів відходів і одночасного створення матеріалів

із новими функціональними властивостями. Водночас вони дають змогу зменшити споживання деревини, що є важливим кроком на шляху до сталого розвитку.

Таким чином, дослідження можливості застосування текстильних відходів у виробництві деревинних полімерних матеріалів, є актуальним завданням, яке спрямоване на розширення можливостей перероблення відходів та створення екологічно орієнтованих матеріалів нового покоління. Метою роботи – дослідити можливість використання відходів текстильного виробництва у деревинно-полімерних матеріалах плоского способу пресування.

Відповідно до поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

- проаналізувати шляхи утворення текстильних відходів, основні екологічні аспекти та можливість застосування текстильних волокон для виготовлення ДПМ;
- розробити деревинно-полімерні композиції із зміною вмісту текстильного волокна;
- дослідити вплив складу текстильних волокон на властивості ДПМ.

Об'єктом дослідження є процес виготовлення деревинних полімерних матеріалів.

Предмет дослідження – деревинні полімерні матеріали.

Апробація результатів магістерської роботи. Матеріали роботи доповідались і обговорювались на 77-ій студентській науково-практичній конференції Навчально-наукового інституту деревообробних технологій і дизайну, м. Львів, 2025.

## РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

### 1.1. Екологічні аспекти утворення текстильних відходів

Різноманітність текстильних матеріалів та їхній обмежений термін служби сприяли значному утворенню відходів у промисловому та споживчому секторах. Глобалізація, особливо в індустрії моди, ще більше посилила цю тенденцію зі збільшенням виробництва та зниженням витрат, сприяючи явищу, відомому як «швидка мода». Ця тенденція характеризується сприйняттям одягу як одноразового, що призводить до зростання споживання одягу [1-4].

Оцінка впливу текстильного та одягового споживання в ЄС є складною через різноманітність джерел виробництва у всьому світі. Значна частина волокна втрачається під час виробництва волокон і одягу, включно з природним обсіпанням волокон та відходами тканини під час крою та шиття [5, 6]. Хоча частину цієї тканини можна повторно використовувати або переробляти, існуючі шляхи повторного використання залишають значний потенціал для додаткового вилучення цінності та зменшення відходів, що, у свою чергу, знижує потребу в первинній сировині [7, 8]. У цьому контексті концепція перетворення відходів на цінний ресурс є важливою стратегією для зменшення впливу людських відходів на довкілля [9, 10, 11].

Беручи до уваги, що текстильна промисловість використовує переважно такі волокна, як бавовна, для переважної більшості виробництва, і що в останні роки спостерігається тенденція до збільшення використання синтетичних волокон, таких як поліестер, можна передбачити, що ця тенденція до включення все більшої кількості синтетичних волокон до тканин зростатиме, що зробить текстильні відходи більш цікавими для додавання як наповнювача до різних матриць полімерних матеріалів [8-11]. Це покращить поточну переоцінку цих відходів, які в основному використовуються для рекуперації енергії. У багатьох випадках перероблені текстильні відходи, особливо ті, що пройшли кілька циклів переробки, зазнають значного

зниження своїх властивостей, що унеможливило їх використання як єдиного матеріалу в композиції [12, 13]. Ця проблема призвела до розробки нової форми переоцінки відходів шляхом створення полімерно-матричних композитів, де полімер виступає в ролі матриці та забезпечує основні властивості, а відходи служать наповнювачем для зниження вартості суміші без суттєвого погіршення загальних властивостей композиту [14, 15]. Примітно, що одним із нових застосувань волокнистих композитних матеріалів з матричних відходів є їх використання в галузі 3D-друку [16, 17, 18, 19].

Обсяг світового ринку управління текстильними відходами у 2024 році становив 10,50 млрд доларів США і, за прогнозами, зросте з 11,37 млрд доларів США у 2025 році приблизно до 23,31 млрд доларів США до 2034 року, зростаючи зі середньорічним темпом зростання 8,30% з 2025 по 2034 рік. Зростання ринку управління текстильними відходами зумовлене зростанням обізнаності щодо екологічної стійкості. Оскільки споживачі все більше усвідомлюють вплив текстильних відходів на екосистему, вони шукають більш сталих практик як від виробників, так і від роздрібних торговців. Ця зміна в поведінці споживачів мотивує компанії впроваджувати екологічно чисті методи управління відходами (рис. 1.1) [20, 21].

За оцінками, світове виробництво текстильних відходів сягає 92 мільйонів тонн на рік, а прогнози вказують на збільшення до 134 мільйонів тонн до 2030 року. У світовому масштабі 75% текстильних відходів утилізується на звалищах, тоді як лише 25% переробляється або використовується повторно, і менше 1% повторно використовується в новому одязі. Ці дані підкреслюють критичну потребу в інноваційних методах переробки для вирішення зростаючої проблеми відходів та покращення сталого повторного використання матеріалів (рис. 1.2) [22-28].

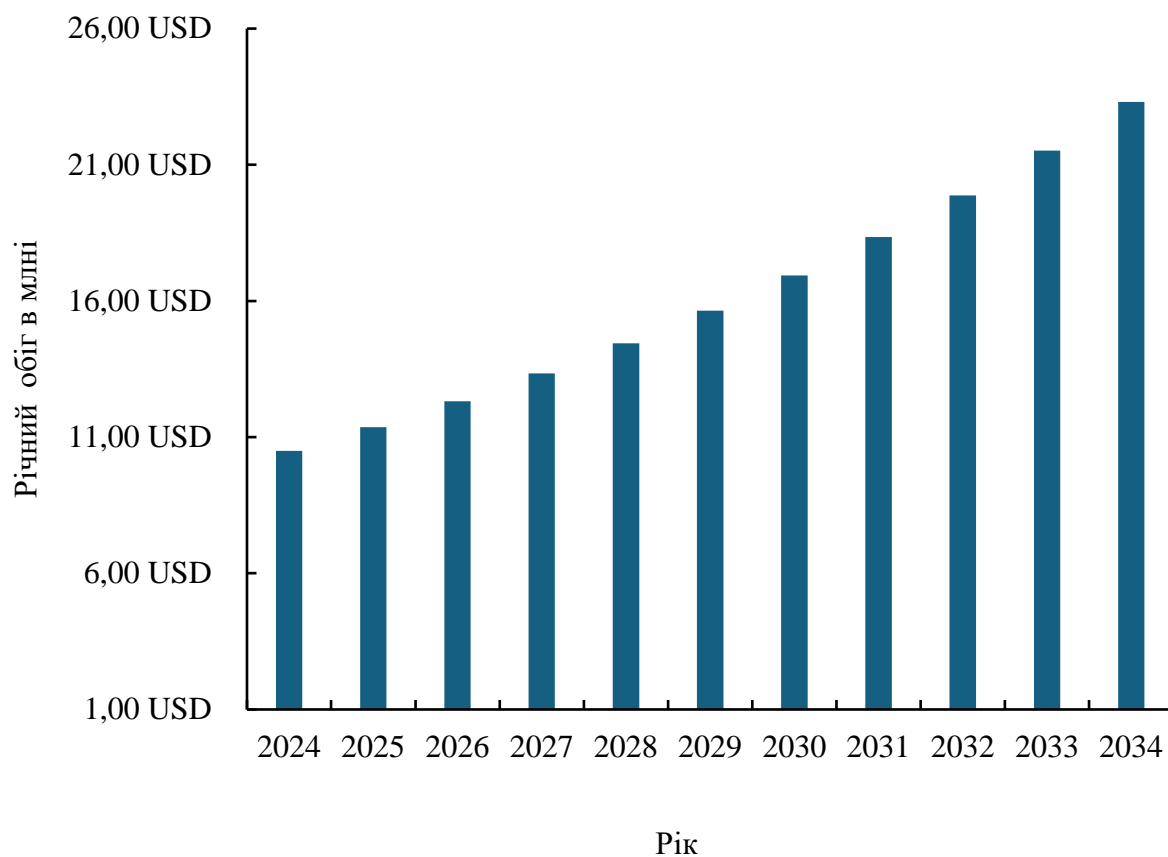


Рисунок 1.1. Управління текстильними відходами

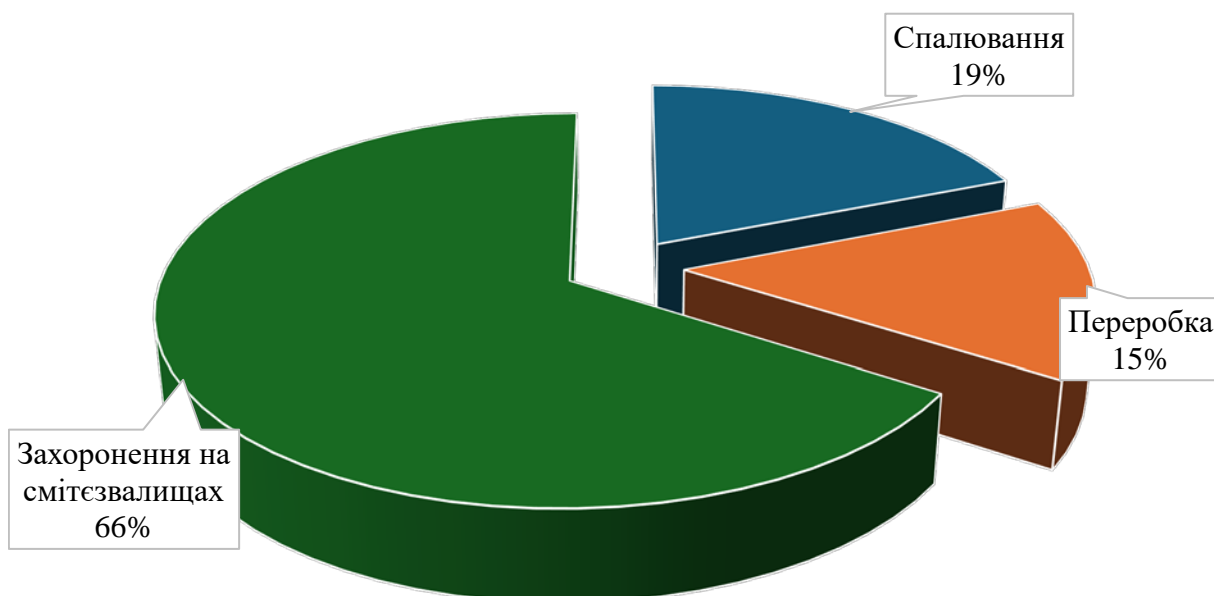


Рисунок 1.2. Шляхи переробки текстильних відходів

На відміну від таких матеріалів, як пластик, скло та папір, текстиль утворює складні потоки відходів, що складаються з різних натуральних та синтетичних волокон, барвників та хімічної обробки, що ускладнює ефективні процеси переробки. Значна кількість одягу складається з змішаних матеріалів, що вимагає передових технологій хімічного розділення для розкладання волокон, зберігаючи при цьому їхню якість. Значні витрати, пов'язані із сортуванням, обробкою та переробкою текстилю, ще більше обмежують зростання цього ринку. Традиційні методи механічної переробки часто дають низькосортні волокна, непридатні для високоякісного застосування, тоді як технології хімічної переробки, незважаючи на свій потенціал, залишаються дорогими та вимагають значних інвестицій в інфраструктуру [17].

#### *Джерела утворення текстильних відходів*

Текстильні відходи виникають на різних етапах виробничо-технологічного циклу, зокрема:

- у трикотажному виробництві — під час перероблення пряді та формування петельної структури;
- у процесі первинної обробки вовни — при видаленні домішок, коротких волокон, нерівностей;
- у швейному виробництві — у момент настилення, розкрою та підготовки тканин до пошиття.

Найціннішими для повторного використання є міжлекальні обрізки та чисті клапти тканин, які не потребують складної попередньої очистки та можуть безпосередньо використовуватися у вторинних технологічних процесах.

Основними методами переробки текстильних матеріалів, за даними Фонду Еллен Макартур класифікуються наступним чином:

- *Механічний* — текстильні відходи перетворюються на нові продукти без зміни основної хімічної структури шляхом різання, подрібнення та дефібрації відходів до рівня волокон та перетворення їх на пряжу та

тканини. Це переробка за замкнутим циклом з можливістю адресації всіх типів волокон (рослинних, тваринних та нафтових). Отримані нові продукти — це нові пряжі та неткані матеріали. Якість отриманих волокон, як правило, поступається первинним волокнам, що використовуються у вихідних продуктах.

Хімічний — текстильні відходи розкладаються на мономері, олігомери або основні хімічні речовини. Ця форма переробки виробляє високоцінну продукцію, оскільки вона ідентична вихідним компонентам, що використовуються для отримання продуктів, що підлягають переробці. Крім того, вона стосується рослинних та нафтових волокон.

Термічний — часто стосується перетворення пластівців, гранул або стружки ПЕТ на волокна шляхом екструдувannya розплаву. Його часто плутають з рекуперацією енергії шляхом спалювання текстильних відходів [29, 30, 31].

Незважаючи на зовнішню безпечність, текстильні відходи створюють суттєве екологічне навантаження. Натуральні волокна під час біодеградації продукують парникові гази — вуглекислий газ і метан, які підсилюють кліматичні зміни. Натомість синтетичні матеріали, що містять поліефірні, поліамідні та інші полімери, є стійкими до розкладу, а під час захоронення виділяють у ґрунт і ґрунтові води токсичні сполуки та мікропластик. Це обумовлює необхідність розроблення ефективних систем управління текстильними відходами та їх залучення до ресурсоефективних технологій, зокрема у виробництві композиційних матеріалів.

## **1.2. Аналіз текстильних волокон для виготовлення ДПМ**

Волокно – це найменший компонент будь-якого текстильного виробу. Текстильні волокна є будівельними блоками або основною одиницею тканин та текстилю [32]. Вибір цих волокон залежить від різних факторів, таких як бажане кінцеве використання. Оскільки, нашою метою є можливість

застосування текстильних відходів у виробництві ДПМ, тому є досить важливим розглянути і проаналізувати їх походження і навести класифікацію волокон, що є основою даних відходів.

Волокна класифікуються на дві основні категорії: натуральні та штучні. Волокна можна розділити на дві широкі категорії, а саме: натуральні та штучні (рис. 1.3) [33, 34, 35].



Рисунок 1.3. Категорії волокон

Натуральні волокна отримуються з природних джерел, тому залежно від походження їх можна розділити на: рослинні, тваринні та мінеральні волокна. Рослинні волокна – це целюлозні матеріали, які зазвичай отримують з бавовни, льону, конопель або бамбука; можна використовувати будь-яку рослину, що містить целюлозу, що екстрагується, тоді як тваринні волокна, такі як шовк та вовна, можна отримати з коконів та овець, відповідно. Синтетичні волокна - це штучні волокна, виготовлені з довгого ланцюга синтетичних полімерів [33, 34].

Натуральні волокна мають численні переваги над синтетичними волокнами, такі як менша щільність, менша вага, дешевше виробництво, біорозкладність, низький ризик для здоров'я під час обробки, велика кількість та легкий доступ, низька вартість виробництва, низькі енергетичні потреби та низький рівень викидів CO<sub>2</sub>.(рис.1.4.).

Природні волокна мають велику механічну міцність. Вони також демонструють меншу щільність та меншу вагу порівняно із синтетичними волокнами [34].



Бавовна

Шовк

Вовна

Джгут

Рисунок 1.4. Загальний вигляд натуральних волокон

Усі ці властивості чітко свідчать про те, що натуральні волокна мають великий потенціал, як заміна синтетичним волокнам. Завдяки своїй доступності та технічній життєздатності, натуральні волокна є найбільш поширеними біоматеріалами, які можуть замінити нестійкі скло- та вуглецеві композити. Волокна природного походження широко використовуються в різноманітних продуктах, таких як будівництво будівель, автомобільна, меблева та технологічна галузі.

Синтетичні волокна, створені шляхом хімічної обробки сировини, такої як нафта або рослинні полімери. Найпоширенішими синтетичними волокнами є поліестер, нейлон, акрил, мод-акрил, спандекс та поліпропілен (рис.1.5). Синтетичні волокна найбільш відомі своєю чудовою міцністю, довговічністю та універсальністю. Вони можуть бути виготовлені із особливими

властивостями, такими як відведення вологи, вогнестійкість або гнучкість. Однак вони також спричиняють екологічні проблеми: зокрема деякі синтетичні волокна отримуються із невідновлюваних джерел, також вони можуть спричиняти забруднення мікропластиком навколишнього середовища. Постійно докладаються зусилля для розробки більш стійких видів синтетичних волокон та переробки волокон з метою пом'якшення цих проблем та захисту навколишнього середовища [33, 34, 35].



Рисунок 1.5. Загальний вигляд синтетичних волокон

Частка синтетичних волокон становить 62,2%, а натуральних – 37,7%. Із загального споживання синтетичних волокон поліестер має понад 51,5% від загального попиту. Відсоток волокон, що використовуються для одягу, становить значну частку – понад 55% [36].

Таким чином, природне волокно стає важливою заміною синтетичним волокнам. Композити, виготовлені з природних і синтетичних волокон, користуються великим попитом у таких галузях, як аерокосмічна, оборонна, автомобільна та вітроенергетика. Волокна природного походження широко використовуються у різних продуктах, включаючи будівництво, автомобілебудування, меблі та технологічний сектор.

### 1.3. Основні властивості текстильних волокон

Текстильні волокна представляють собою широку групу природних і синтетичних матеріалів, кожен з яких має унікальні структурні та експлуатаційні властивості. Класифікація волокон та аналіз їхніх характеристик є важливими етапами у виборі оптимального матеріалу для конкретних умов використання, тому розглянемо деякі із них.

#### *Довжина волокна.*

Довжина є однією з ключових характеристик, що визначає якість і придатність волокна до прядіння. Загальний діапазон довжин коливається від менш ніж 1 см до кількох тисяч метрів. Для промислового використання волокна довжиною менше 1 см є економічно не вигідними та не забезпечують отримання міцної пряжі. Безперервні нитки часто спеціально розрізають на визначені відрізки, які класифікують як штапельні волокна. Зі збільшенням довжини волокна зростає міцність і рівномірність отриманої пряжі.

#### *Тонкість волокна.*

Тонкість характеризується співвідношенням довжини до діаметра волокна і має вирішальне значення для формування високоякісної пряжі. Тонкі волокна забезпечують гладкість, рівномірність та м'якість готової продукції. Для грубих волокон це співвідношення складає приблизно 1:700, тоді як для дуже тонких може досягати 1:5000. Тонкість визначає експлуатаційні властивості матеріалів та сфери їхнього застосування.

#### *Міцність волокна.*

Міцність на розрив - одна з найважливіших характеристик текстильних волокон, що визначає їхню здатність витримувати механічні навантаження під час прядіння, ткацтва та експлуатації. Слабкі волокна не забезпечують формування міцної пряжі та мають обмежене застосування. Висока міцність сприяє зносостійкості матеріалів і збільшує їх довговічність.

#### *Згорнутість (кривизна волокна).*

Згорнутість описує хвилястість волокна, яка є природною для багатьох натуральних волокон, таких як вовна, бавовна, джут. Показник згорнутості

виражають як відсоткове відхилення від довжини випрямленого некрохмаленого волокна. Згорнутість впливає на об'ємність, пружність, теплоізоляційну здатність пряжі та її структуру.

#### *Однорідність.*

Однорідність визначає рівномірність волокна за довжиною та діаметром. Висока однорідність сприяє виробництву рівномірної пряжі з передбачуваними властивостями. Оскільки рівномірність структури напряму пов'язана з міцністю, волокна з високим рівнем однорідності формують пряжу з кращими механічними показниками.

#### *Поглиняльна здатність (гігроскопічність).*

Гігроскопічність визначає здатність волокна поглинати вологу, що суттєво впливає на експлуатаційні властивості тканини, зокрема комфортність, електризованість, здатність до усадки та відновлення після зминання.

#### *Когезивність.*

Це здатність волокон утримуватися разом у масі завдяки структурним та поверхневим особливостям. Жорсткі та грубі волокна, як правило, мають нижчу когезивність порівняно з м'якими та гнучкими. Наявність лусочок, нерівностей діаметра чи ворсистості збільшує когезивність і покращує процес прядіння.

#### *Пружність (еластичність).*

Пружність описує здатність волокна відновлювати свою форму після деформації. Натуральні волокна зазвичай характеризуються низькою або помірною еластичністю, тоді як синтетичні демонструють високий рівень пружності, що зменшує зминання та підвищує формостійкість текстильних матеріалів.

#### *Довговічність.*

Довговічність визначає здатність волокна протистояти впливу фізичних, хімічних та біологічних чинників, що можуть спричинити

руйнування або деградацію. Волокна з високою довговічністю зберігають свої властивості у процесі виробництва, експлуатації та оброблення [34, 35, 38].

Зростання вимог до екологічності та ресурсоефективності стимулює активний розвиток інноваційних матеріалів, таких як регенеровані волокна, отримані із вторинної сировини.

Таким чином, вивчення властивостей, структури та технологічних особливостей текстильних волокон є фундаментальним для забезпечення ефективного використання ресурсів, розроблення нових матеріалів та оптимізації виробничих процесів.

#### **1.4. Використання текстильних волокон у виробництві ДПМ**

Використання текстильних відходів є інноваційним підходом до отримання екоефективних композитів, який сприяє повторному використанню текстильних відходів та забезпечує економічно та екологічно стійке рішення для текстильної та полімерної промисловості.

Можливість покращення загальних екологічних показників будівельної та текстильної промисловості шляхом використання різних текстильних відходів для виготовлення плит, які можна використовувати як заміну плит OSB, товщиною 8 мм, для складання внутрішніх неконструкційних стін у легких дерев'яних каркасних будівлях. Новизна цього дослідження полягає у використанні несортованих текстильних відходів до та після споживання як армуюча структура, а також відходи двоорієнтованих поліпропіленових плівок (BOPP), відходи поліпропіленових нетканих матеріалів (TNT) та первинні поліпропіленові волокна (PP) як матриця. Механічні властивості нового матеріалу значно вищі, ніж у традиційних 8-міліметрових плит OSB [39].

Наразі їх можна використовувати в багатьох сферах застосування, зокрема як терасні покриття (меблі для приміщень або саду), упаковка або споживчі товари [40, 41]. Автомобільна промисловість є однією з галузей, де

ці композити мають велике поширення завдяки їхньому чудовому співвідношенню ваги та міцності. Використання натуральних волокон у полімерних матрицях може зменшити приблизно на 20% загальної ваги та 30% вартості. Зниження ваги в автомобілях призводить до економії палива та, як наслідок, до зменшення викидів парникових газів [42]. Натуральні волокна, такі як коноплі, льон та джут, серед інших, використовуються як армуючий матеріал у термопластах, завдяки їхнім хорошим механічним властивостям та легкості їх отримання. Цей фактор сприяє заміні синтетичних волокон, таких як арамідні, вуглецеві та скляні, які використовуються зараз, оскільки виробництво синтетичних волокон є дорогим, і вони негативно впливають на навколишнє середовище [43, 44].

Одними із найпоширеніших натуральних волокон, що можуть використовуватися у виготовленні полімерних матеріалів, є коноплі, льон або деревне волокно [45-48].

Переваги натуральних волокон, що використовуються в полімерних композитах, включають низьку щільність, біорозкладність, їхню здатність гасити акустичні хвилі та легкість, з якою їх можна переробляти. Включення таких волокон у полімерну матрицю значно зменшує її теплове розширення. Обмежувальним фактором у обробці композитів, армованих натуральними волокнами, є допустимий діапазон температур, який не повинен перевищувати 230°C через можливість деградації волокон [49].

Існує кілька методів покращення взаємодії полімеру з натуральним волокном, серед яких є включення наночастинок або обробка силаном волокон, інша можливість полягає у введенні компатибілізаторів або зв'язуючих агентів на основі малеїнового ангідриду (МА), які сприяють утворенню водневих та ковалентних зв'язків з гідроксильними групами целюлози [50, 51], що є основним компонентом рослинних волокон.

Деревинно-полімерні матеріали на основі переробленої поліпропіленової матриці, армованої короткими конопляними волокнами, були успішно отримані методом лиття під тиском.

Екоефективні композити можуть бути отримані шляхом комбінування текстильних відходів з термопластичною полімерною матрицею, наприклад, поліамідом, що сприяє сталому розвитку, покращенню властивостей матеріалу та економічним перевагам. Хоча матриця і текстильні волокна мають подібну хімічну природу, їхня сумісність та поведінка кінцевого композиту не гарантовані. Це підкреслює важливість використання сполучних агентів, які покращують міжфазну взаємодію між полімерною матрицею та волокнами, підвищуючи властивості композиту

У цьому дослідженні обрано силани, як сполучні агенти через їхнє широке промислове застосування. Силани містять гідролізовні алкокси-групи, що визначають їхню реактивність та здатність зв'язуватися з поверхнею волокон [51-53]. Їхнє введення може здійснюватися двома способами: попередня обробка підсилюючого субстрату, що забезпечує вищу продуктивність, але підвищує складність та вартість виробництва [53, 54], або пряме додавання до полімерної матриці, що спрощує процес виробництва за незначного зниження механічних властивостей [55, 56, 57].

Також досліджували розроблення полімерних композитів, армованих текстильними відходами. Зосереджували увагу на бавовняному та поліефірному текстилі, проведено систематичний аналіз, щоб дослідити, як різні типи текстилю впливають на властивості полімерних композитів. Крім того, важливим є вплив двох різних сполучних агентів на ці композити, прагнучи зрозуміти міжфазні взаємодії між гідрофільними (бавовняними) та гідрофобними (поліефірними) волокнами та полімерною матрицею. Результати показують, що тип використовуваного волокна має більш значний вплив на характеристики композиту, ніж вибір сполучного агента. Крім того, взаємодія між типом волокна та сполучним агентом суттєво впливає на комплексну в'язкість композитів, що є критичним для їх обробки [58].

Експериментальні результати підтверджують ці висновки, демонструючи, що композити, які містять значну кількість бавовни, демонструють вищі показники на міцність на розтяг та модуль Юнга

порівняно із зразками, що містять переважно поліестер, це підкреслює внесок бавовни в покращення механічних характеристик [59]. Композити з рівною сумішшю бавовни та поліестеру забезпечили збалансований механічний профіль, зберігаючи помірні характеристики за всіма властивостями.

Загалом, вищий вміст поліестеру призводить до підвищеної жорсткості та розсіювання енергії, що є корисним у випадках, коли потрібна висока міцність та жорсткість. І навпаки, вищий вміст бавовни забезпечує більшу гнучкість та меншу розсіювання енергії, що підходить для випадків, коли потрібна пластичність та ударостійкість.

Завдяки цій роботі вдалося визначити, що процес переробки, якому піддавалися відходи поліпропіленового текстилю, не має помітного впливу на їхню поведінку, маючи практично такі ж характеристики, як і чистий поліпропілен.

На завершення, ці дослідження демонструють можливість переробки текстильних відходів у композити з доданою вартістю, вирішуючи проблеми утилізації текстильних відходів, одночасно розробляючи матеріали з індивідуальними механічними, термічними та реологічними властивостями. Такий підхід сприяє сталому управлінню текстильними відходами та розвиває композитне матеріалознавство, пропонуючи розуміння проектування та оптимізації полімерних композитів для різноманітних застосувань. Необхідні подальші дослідження для оцінки довгострокової міцності, впливу на навколишнє середовище та економічної життєздатності цих композитів у реальних умовах застосування, що прокладає шлях для їх інтеграції в рамки циркулярної економіки текстильної промисловості.

## **1.5. Висновки**

Зростання ринку управління текстильними відходами зумовлене зростанням обізнаності щодо екологічної стійкості. Оскільки споживачі все більше усвідомлюють вплив текстильних відходів на екосистему, вони

шукають більш сталих практик як від виробників, так і від роздрібних торговців. Ця зміна в поведінці споживачів мотивує компанії впроваджувати екологічно чисті методи управління відходами, зокрема у розробці нових композитних матеріалів.

Аналізуючи результати попередніх досліджень, можна зробити висновок, що текстильні відходи можна використовувати для створення деревно-полімерних матеріалів (ДПМ), використовуючи відходи волокон як армуючий матеріал, що може покращити механічні, теплові та акустичні властивості кінцевого продукту. Це сталий спосіб управління текстильними відходами, який досягається шляхом механічної обробки тканини на волокна або інші форми, які потім змішуються з полімерною матрицею. Застосування включає будівельні панелі та автомобільні деталі.

Попередні дослідження демонструють можливість переробки текстильних відходів у композити, вирішуючи проблеми утилізації текстильних відходів, одночасно розробляючи матеріали з індивідуальними механічними, термічними та реологічними властивостями.

Хороші показники деревинно-полімерних матеріалів були отримані із використанням натурального волокна, зокрема бавовни. Чим вищий вміст бавовни, тим забезпечується більша гнучкість композиту, що підходить для випадків, коли потрібна пластичність та ударостійкість.

Мета роботи – дослідити можливість використання відходів текстильного виробництва у деревинно-полімерних матеріалах плоского способу пресування..

Відповідно до поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

- проаналізувати шляхи утворення текстильних відходів, основні екологічні аспекти та можливість застосування текстильних волокон для виготовлення ДПМ;
- розробити методику експериментальних досліджень із дослідження вмісту текстильних волокон у ДПМ;
- дослідити вплив складу текстильних волокон на властивості ДПМ.

## РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 2.1 Матеріали та обладнання, використані в експериментальних дослідженнях

Для здійснення експериментальних досліджень використовували такі матеріали та обладнання:

- подрібнені відходи термозбіжної поліетиленової плівки (рисунок 2.1, *a*);
- подрібнені обгортки з-під цукерок (рисунок 2.1, *б*);
- деревинна стружка промислового виробництва ТОВ “СВІСС КРОНО” (рисунок 2.1, *в*);
- відходи текстильного виробництва ДП «ГРІН КОТТОН ГРУП ЛЬВІВ» подрібнені на підприємстві ТОВ "Реінвентекс" (рисунок 2.1, *д*);



*a)*



*б)*



*в)*



*д)*

Рисунок 2.1. Матеріали для виготовлення деревинно-текстильно-полімерних плит: *a)* подрібнені відходи термозбіжної поліетиленової плівки; *б)* подрібнені обгортки з-під цукерок; *в)* деревинна стружка; *д)* подрібнені відходи текстильного виробництва

- товщиномір-мікрометр для вимірювання товщини частинок;
- лінійка металева;
- штангенциркуль;
- секундомір (ТУ 25-1894.003-90);
- вага електронна "Axis" BD 2000 (точність вимірювання 0,1 г);
- вага електронна "Axis" AD 2000 (точність вимірювання 0,01 г);
- фільтрувальний папір;
- металеві піддони;
- термостійка поліетилентерефталатна плівка;
- металеві рамки;
- матриця з пуансоном;
- лабораторний гідравлічний прес марки 160-400-23;
- лабораторний механічний прес ПММ – 125;

лабораторна універсальна випробувальна машина Form +Test Seidner Machine;

- посудина для води з термостатом, яка забезпечує сталу температуру  $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$ , з пристроєм для утримання зразків під водою;
- персональний комп'ютер для математичної обробки та оформлення результатів досліджень.

## **2.2 Вибір змінних факторів та методика планування експериментів**

З метою встановлення взаємозв'язку міцності та водостійкості ДПП із основними технологічними факторами використано методику планування експерименту [60,61].

Враховуючи технологічні особливості виготовлення ДПП, під час виконання експериментальних досліджень сталими факторами прийнято:

- спосіб пресування – періодичний;
- метод пресування – плоский;
- тиск гарячого пресування – 3,5 МПа;

- температура гарячого пресування – 180 °С;
- тривалість гарячого пресування – 1,0 хв/мм
- тиск холодного допресування плит – 1,5 МПа;
- площа поверхні плит – 250x230 мм;
- товщина плити – 8 мм;
- щільність плити – 700 кг/м<sup>3</sup>;
- вологість плит – 8%;
- вологість деревинних частинок наповнювача – 3%.

Методична сітка виконання експериментів наведена в табл. 2.1, що забезпечує систематичний підхід до аналізу впливу змінних факторів.

Таблиця 2.1

## Методична сітка виконання експериментальних досліджень

№ складу	Вміст, % за масою			
	подрібнені відходи термозбіжної поліетиленової плівки (ВПЕ)	подрібнені обгортки з-під цукерок	деревинні частинки (ДЧ)	відходи текстильного виробництва (ТВ)
1	40	-	50	10
2	40	-	40	20
3	40	-	30	30
4	-	40	50	10
5	-	40	40	20
6	-	40	30	30

### 2.3 Процес виготовлення деревино-полімерних плит

Процес виготовлення деревино-полімерних плит складався з таких етапів:

*підготовка компонентів композиції*, ця стадія включає в себе такі операції:

*зважування компонентів*. Витрата компонентів композиції розраховували на персональному комп'ютері та дозували згідно рецептури композиційних матеріалів. Масу і-го компонента суміші розраховували за формулою:

$$m_i = \frac{\rho_n \cdot V_n \cdot \omega_i}{100}, \quad (2.1)$$

де  $\rho_n$  – щільність готової плити, кг/м<sup>3</sup>;

$V_n$  – об'єм готової плити, м<sup>3</sup>;

$\omega_i$  – вміст і-го компонента в суміші, %.

- Зважування здійснювали на електронних вагах "Axis" BD 2000 з точністю вимірювання 0,1 г

*приготування композиції до пресування*, ця стадія включає в себе такі операції:

- *змішування компонентів композиції*. Змішування здійснювали в сухому стані.

- *формування та підпресування композиції*. Змішану композицію формували на металевій пластині, на яку попередньо накладали термостійку поліетилентерефталатну плівку, для забезпечення необхідної шорсткості поверхні, та неприлипання композиційної суміші до металевих пластин. Формування композиції здійснювали методом рівномірного насипу змішаної композиції у матрицю по всій її площині з подальшим підпресуванням за допомогою пуансона.

- *основна стадія – пресування в гарячому пресі*. Дослідні зразки виготовляли методом плоского в гарячому гідравлічному пресі марки 160-400-23. Тиск пресування становив 3,5 МПа. Контроль тиску здійснювали

манометром ЭКМ-2У. Час витримки плит у гарячому пресі контролювали за допомогою секундоміра (ТУ 25-1894.003-90). Температура пресування підтримували автоматично за допомогою регуляторів температури

**• охолодження готових деревинно-текстильно-полімерних матеріалів.** Отримані деревинно-текстильно-полімерні плити, температура яких становить близько 180°C потребують подальшого допресування та охолодження. Для цього було використано механічний лабораторний прес ПММ-125.

Для виконання подальших досліджень вирізали експериментальні зразки відповідних розмірів для визначення фізико-механічних показників плитних композиційних матеріалів.

Виготовлені зразки нумерувались, попередньо зважувались та випробовувались.

#### **2.4. Визначення межі міцності та модуля пружності під час статичного згинання**

Визначення межі міцності та модуля пружності під час статичного згинання проводили відповідно до стандарту ДСТУ EN 310:2003 [62]. Відбір і підготовка зразків здійснювали згідно з вимогами ДСТУ EN 326-1:2006 [63]. Навантаження на зразок наносили з постійною швидкістю до моменту його руйнування, при цьому максимальне навантаження фіксували з точністю до 1%. Час від початку навантаження до руйнування зразка мав становити  $(60 \pm 30)$  секунд. Випробувальний пристрій (рисунок 2.2) складався двох паралельні циліндричні опори, які можна переміщувати в горизонтальній площині, з довжиною, що перевищує ширину зразка. Діаметр циліндричних опор становив  $15 \pm 0,5$  мм. Відстань між опорами регулювали залежно від розмірів зразка. Циліндрична навантажувальна головка такої ж довжини, з діаметром  $30 \pm 0,5$  мм, розташована паралельно опорам на однаковій відстані від них.

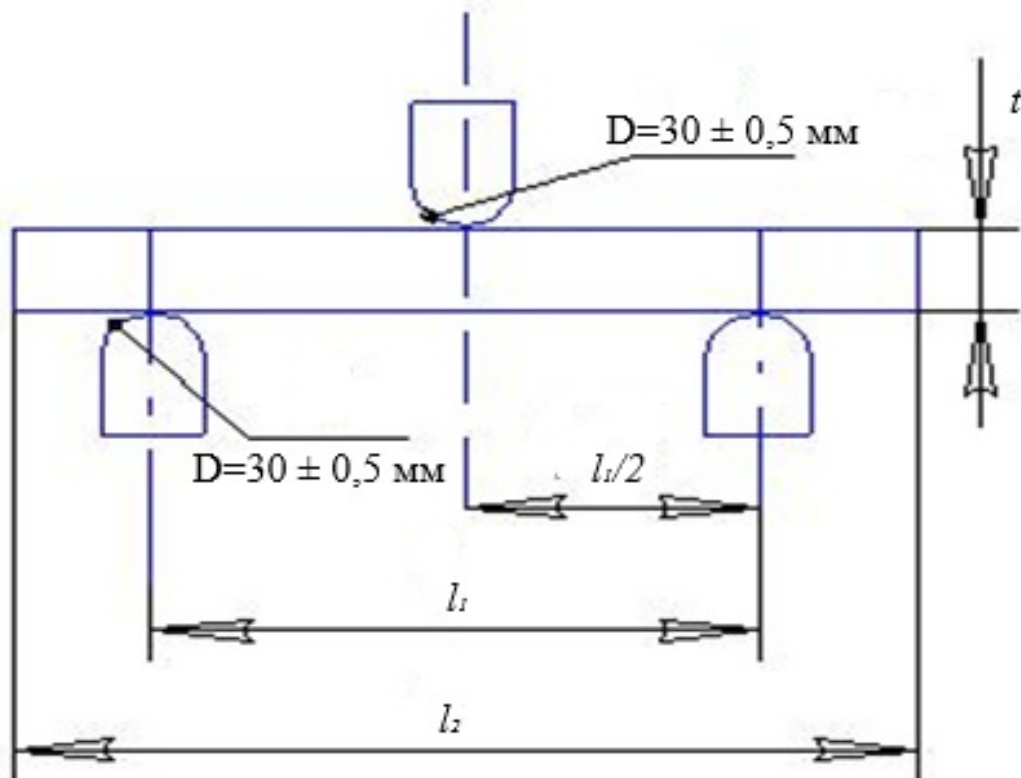


Рисунок 2.2. Схема визначення межі міцності та модуля пружності під час статичного згинання

Ширину та товщину кожного зразка визначали відповідно до ДСТУ EN 325:2008 [64] у таких точках: товщину вимірювали в місці перетину діагоналей, а ширину — у середині зразка. Відхилення посередині випробного зразка (під навантажувальною головкою) вимірювали з точністю до 0,1 мм, і його значення не мало перевищувати 1% від вимірюваної величини.

Межу міцності під час згинання зразка ( $f_m$ ) в МПа обчислюють за формулою:

$$f_m = \frac{3 \cdot F_{\max} \cdot l_1}{2bt^2} \quad (2.2)$$

де,  $F_{\max}$  —максимальне навантаження, Н;  $l_1$  – відстань між центрами опор, мм;  $b$  – ширина зразка, мм;  $t$  - товщина зразка, мм.

Модуль пружності під час с згинання зразка  $E_m$  розраховують в МПа за формулою:

$$E_m = \frac{l_1^3(F_2 - F_1)}{4bt^3(a_2 - a_1)} \quad (2.3)$$

де  $l_1$  - відстань між центрами опор, мм;  $b$  - ширина зразка, мм;  $t$  - товщина зразка, мм;  $F_2 - F_1$  - збільшення навантаження у прямолінійному діапазоні діаграми «навантаження - прогин» Н.  $F_1$  повинно скласти приблизно 10 %, а  $F_2$  — приблизно 40 % руйнівного навантаження; Н;  $a_2 - a_1$  - збільшення прогину посередині зразка (відповідно  $F_2 - F_1$ ).

## 2.5. Визначення щільності

Метод визначення щільності здійснюється згідно ДСТУ EN 323:2008 [65]. Відбір і підготовка зразків здійснювали згідно з вимогами ДСТУ EN 326-1:2006 [63]. Випробувальні зразки мали форму квадрата зі сторонами  $(50 \pm 1)$  мм. Зразки обрізали під кутом  $90^\circ$ , забезпечуючи рівність і зачищеність усіх граней.

Вимірювання об'єму кожного випробного зразка проводять згідно з ДСТУ EN 325:2008:

а) вимірюють товщину у точці перетину діагоналей, як показано на рисунку 2.3 (якщо точка перетину не співпадає з поверхневими нерівностями, які можуть вплинути на результат вимірювання) з похибкою 0,05 мм. Вимірювальний інструмент підводять повільно до поверхні випробного зразка.

Щільність  $\rho$  кожного випробного зразка (у  $\text{кг}/\text{м}^3$ ) розраховують за формулою:

$$\rho = \frac{m}{b_1 \cdot b_2 \cdot t} \cdot 10^6, \quad (2.4)$$

де  $m$  — маса випробних зразків, г;

$b_1$  - довжина зразка, мм;

$b_2$  - ширина зразка, мм;

$t$  - товщина зразка, мм.

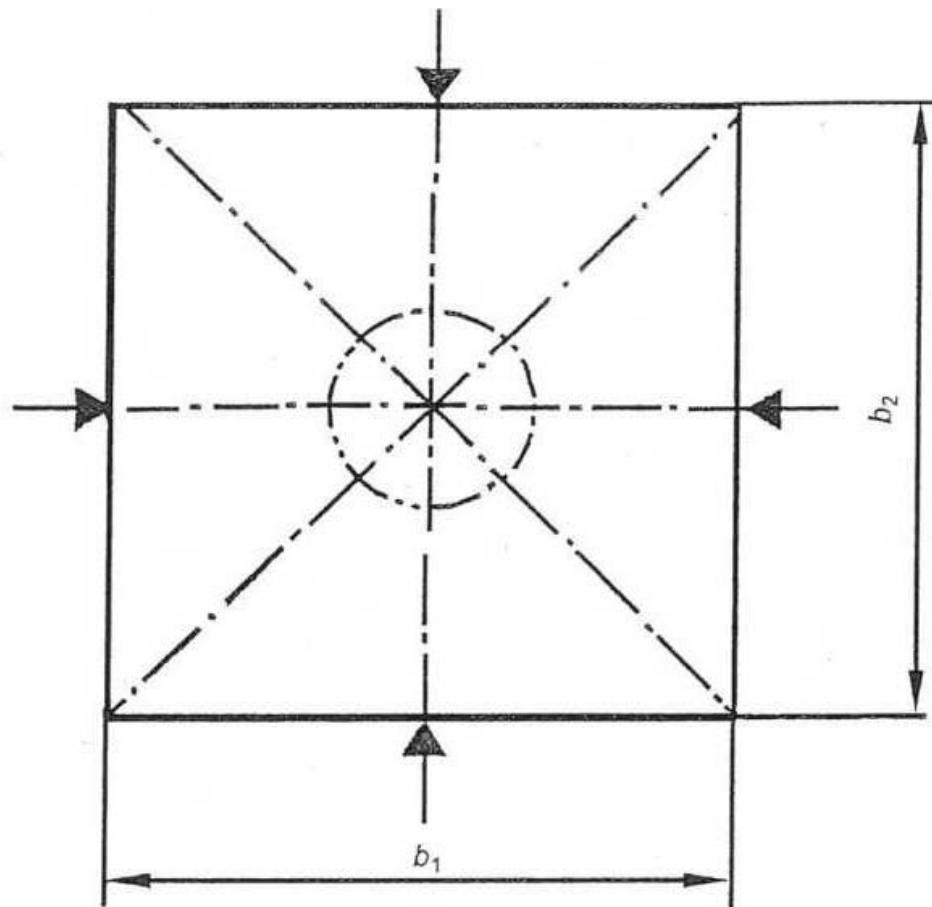


Рисунок 2.3. Точка вимірювання

Щільність плити отримують розрахунком середнього арифметичного щільності усіх випробних зразків, узятих від тієї самої плити, і виражають у  $\text{кг/м}^3$  з точністю до третьої значущої цифри.

## 2.6. Визначення набрякання за товщиною

Визначення набрякання за товщиною проводили відповідно до стандарту ДСТУ 4761:2007 [66]. Відбір і підготовка зразків здійснювали згідно з вимогами ДСТУ EN 326-1:2006 [64]. Зразки виготовляли у формі квадрата зі сторонами  $50 \pm 1$  мм, допускається також використання зразків зі сторонами  $100 \pm 1$  мм. Зразки піддавали кондиціонуванню до досягнення постійної маси при середній відносній вологості  $65 \pm 5$  % і температурі  $20 \pm 2^\circ\text{C}$ . Постійну

масу вважали досягнутою, якщо різниця між результатами двох зважувань, проведених із інтервалом 24 години, не перевищувала 0,1 % маси зразка.

Товщину кожного зразка вимірювали з точністю до  $\pm 0,01$  мм у точці перетину діагоналей відповідно до ДСТУ EN 325:2008 [65] або як середнє значення чотирьох вимірювань (рисунок 2.4).

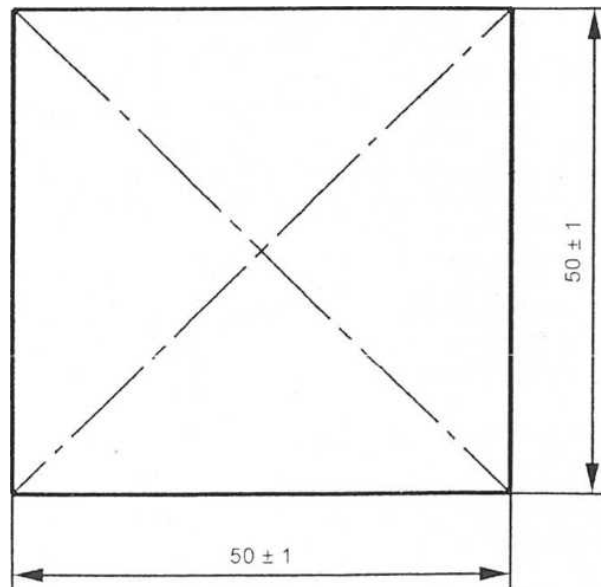


Рисунок 2.4. Випробувальний зразок для вимірювання набрякання за товщиною

Зразки занурювали вертикально в чисту непроточну воду з рН  $7 \pm 1$  при температурі  $20 \pm 1^\circ\text{C}$ . Цю температуру підтримували протягом усього періоду випробування. Зразки розміщували так, щоб вони були відокремлені один від одного з усіх боків. Верхні краї зразків мали бути покриті водою на глибину  $25 \pm 5$  мм. Воду замінювали після кожного випробування. Тривалість занурення визначали відповідно до спеціальних стандартів залежно від типу плит. Після завершення встановленого часу занурення зразки виймали з води, видаляли надлишки вологи та повторно вимірювали їхню товщину.

Набрякання за товщиною кожного випробного зразка ( $G_t$ ) у відсотковому відношенні до вихідної товщини має бути обчислено за такою формулою:

$$G_t = \frac{t_2 - t_1}{t_1} \cdot 100, \% \quad (2.5)$$

де  $t_1$  – товщина зразка перед занурення у воду, мм;

$t_2$  – товщина зразка після вилучення з води, мм.

Обчислюють з похибкою не більше ніж 0,1%.

## 2.7. Статистична обробка результатів експериментів

Точність, об'єктивність, надійність визначення дійсного значення вимірюваної характеристики  $i$ , відповідно, правильність всіх подальших висновків залежить від того, наскільки правильно будуть оброблені експериментальні результати.

Тому після завершення експериментів спочатку виконували попередню технічну обробку експериментальних даних для прискорення подальших розрахунків і попередження помилок, яка полягала в наступному. Отримані дані в межах одного дослідження перевірялись на існування варіантів, що виділяються, які позначають результат окремого дослідження, отриманого внаслідок деякої грубої помилки. Порівняна простота таких перевірок і їх логічна строгість стали основою для їх застосування у всіх необхідних в цій роботі ситуаціях. Після завершення перевірки на варіанти, що виділялись, результати дослідів обробляли методами варіаційної статистики [60, 61].

Незважаючи на те, що дані кожного дослідження піддавали попередньо статистичній обробці з метою відшукування грубих помилок, сумнівні результати крім цього перевіряли за допомогою  $t$ -критерію Стьюдента. У цьому випадку сумнівний результат  $y_i$  тимчасово виключали із вибірки, а за даними, що залишились розраховували середнє арифметичне  $\bar{y}$  і оцінку дисперсії  $S^2$ . У подальшому розраховували величину [60, 61]:

$$t_{\text{від}} = \frac{y_i - \bar{y}}{S^2}. \quad (2.6)$$

З таблиць розподілу Стьюдента [60, 61] за вибраним рівнем значимості  $q=0.05$  і числом степенів свободи  $f$ , яке зв'язане з дисперсією  $S^2$ , знаходили табличне значення  $t$ -критерію  $t_{табл}$ .

Якщо  $t_{розр} > t_{табл}$ , то підозрюваний результат є промахом і виключається з вибірки. Дослід у цьому випадку повторюємо, щоб зберегти рівномірне дублювання дослідів в експерименті.

Після обробки експериментальних даних і отримання рівняння регресії, приступили до їх статистичного аналізу. При цьому вирішували два основних завдання: оцінювали значимість коефіцієнтів регресії і перевіряли адекватність математичної моделі.

Згідно вимог регресійного аналізу правильна обробка і використання результатів досліджень можливі тільки у випадку, коли дисперсії вимірювань відгуку в кожній точці досліду однакові. Така властивість називається однорідністю дисперсій. Перевірка однорідності дослідів виконували за критерієм Кохрена [60, 61]:

$$G_{розр} = \frac{S_{\max}^2}{\sum_{j=1}^N S_j^2}, \quad (2.7)$$

де  $S_{\max}^2$  – найбільша з дисперсій, що розглядаються;  $\sum_{j=1}^N S_j^2$  – сума всіх дисперсій.

Дисперсію для  $j$ -го досліду визначали за формулою:

$$S_j^2 = \frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^N (y_{ji} - \bar{y}_j)^2, \quad (2.8)$$

де  $n$  – число дослідів, що дублюються в кожній серії;  $y_{ji}$  –  $j$ -те значення відгуку в  $i$ -му досліді;  $\bar{y}_j$  – середнє значення відгуку за результатами  $j$ -ї серії дослідів, що дублюються.

Якщо  $G_{розр} < G_{табл}$ , то гіпотеза про однорідність дисперсій приймається.

Оцінку значимості коефіцієнтів регресії здійснювали за допомогою

критерію Стьюдента. Коефіцієнт регресії вважався значимим, якщо виконувалась умова [3,4]:

$$|b_i| \geq t_{табл} \cdot S\{b_i\}, \quad (2.9)$$

де  $|b_i|$  – абсолютні значення коефіцієнтів регресії;  $S\{b_i\}$  – середнє квадратичне відхилення відповідного коефіцієнта регресії;  $t_{табл}$  – табличне значення критерію Стьюдента для рівня значимості  $q=0.05$  і числа степенів свободи  $f=N(n-1)$ .

Якщо умова (2.9) не виконується, то коефіцієнт регресії  $b_i$  незначимий і відповідний член в рівнянні регресії відкидається.

Перевірку адекватності математичної моделі здійснювали за допомогою критерію Фішера [60, 61]:

$$F_{розр} = \frac{S_{ад}^2}{S^2\{y\}}, \quad (2.10)$$

де  $S_{ад}^2$  – оцінка дисперсії адекватності;  $S^2\{y\}$  – оцінка дисперсії відтворюваності.

Як дисперсія відтворюваності береться середнє арифметичне дисперсій дослідів:

$$S^2\{y\} = \frac{\sum_{j=1}^N S_j^2}{N}. \quad (2.11)$$

Оцінку дисперсії адекватності обчислювали за формулою:

$$S_{ад}^2 = \frac{1}{N-p} \cdot \sum_{j=1}^N (y_j^e - y_j^p)^2, \quad (2.12)$$

де  $p$  – число коефіцієнтів регресії рівняння, що шукається, включаючи вільний член;  $y_j^e, y_j^p$  – експериментальне і розрахункове значення функції відгуку в  $j$ -му досліді.

Рівняння регресії є адекватним, якщо виконана умова:

$$F_{розр} \leq F_{табл}, \quad (2.13)$$

де  $F_{табл}$  – табличне значення критерію Фішера при  $q=0.05$  для:

$$f_{ad} = N - p, \quad (2.14)$$

$$f_y = N \cdot (n-1). \quad (2.15)$$

Всі розрахунки, пов'язані з обробкою експериментальних даних виконували, на персональному комп'ютері.

## РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 3.1. Вплив складу деревинно-полімерної композиції на межу міцності та модуль пружності ДПП під час статичного згинання

Вплив складу деревинно-полімерної композиції на межу міцності під час статичного згинання представлено на рисунку 3.1. Загальна тенденція, зафіксована для обох полімерних матриць, полягає у значному зниженні межі міцності зі зменшенням вмісту деревинних частинок (ДЧ) та відповідним збільшенням частки відходів текстильного виробництва (ТВ).

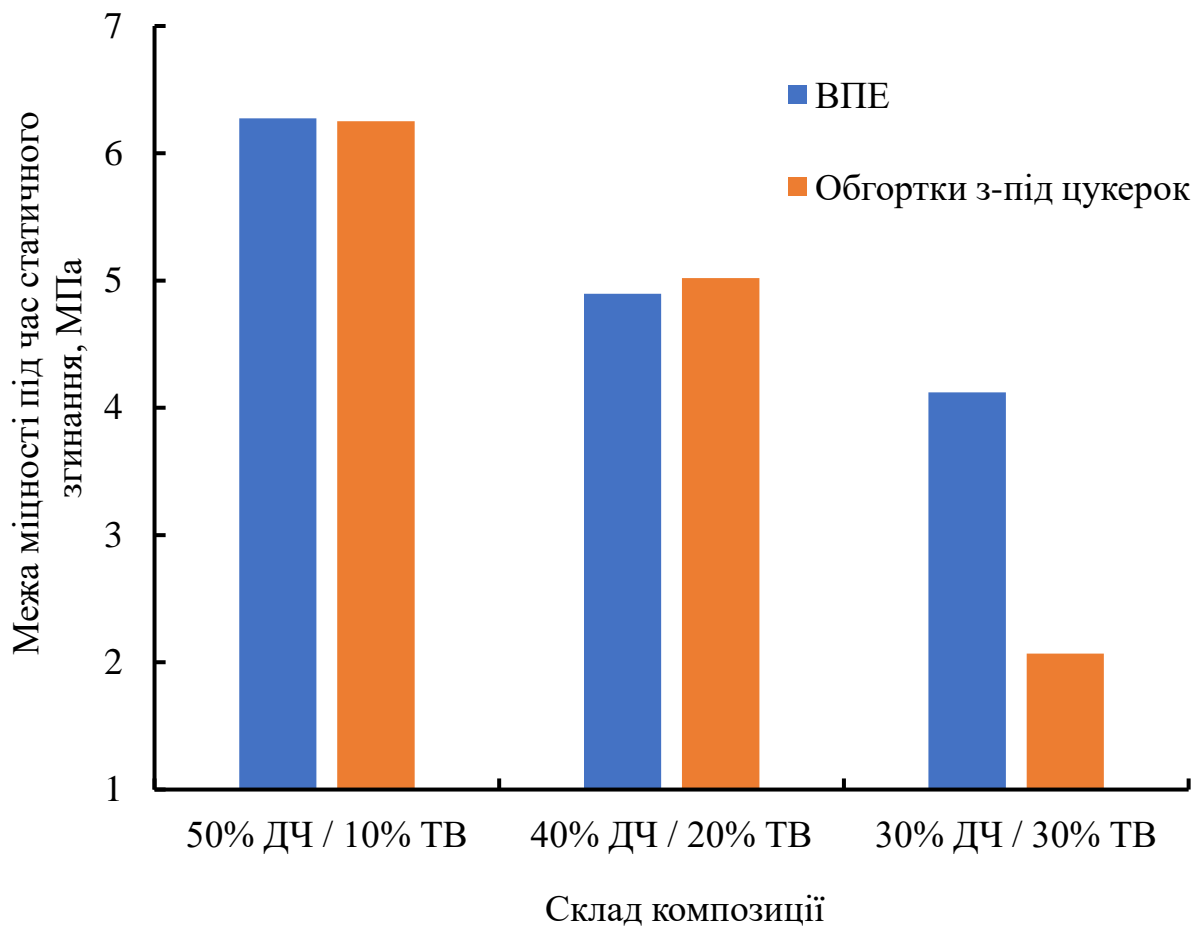


Рисунок 3.1. Вплив складу деревинно-полімерної композиції на межу міцності ДПП під час статичного згинання

Перехід від рецептури 50% ДЧ / 10% ТВ до 30% ДЧ / 30% ТВ призводить до падіння межі міцності під час статичного згинання на 34,3% для ДПП на

основі ВПЕ (з 6,27 МПа до 4,12 МПа) та на 66,9% для композитів на основі обгортки з-під цукерок (з 6,25 МПа до 2,07 МПа). Це свідчить про те, що ДЧ відіграють роль ефективнішого армуючого наповнювача порівняно з ТВ, забезпечуючи кращу жорсткість та міжфазну адгезію з поліетиленовою матрицею. Збільшення частки ТВ, ймовірно, вносить більш гнучкі та менш жорсткі елементи у структуру композиту, погіршуючи його здатність протистояти згинальним напруженням.

Вплив типу полімерної матриці є нелінійним і залежить від співвідношення наповнювачів: За складу композиції 50% ДЧ / 10% ТВ різниця у межі міцності під час статичного між ДПП на основі ВПЕ (6,27 МПа) та обгортками з-під цукерок (6,25 МПа) є несуттєвою. Однак, при складі 40% ДЧ / 20% ТВ ДПП на основі Обгортки (5,02 МПа) навіть демонструє незначне перевищення міцності під час статичного згинання над ВПЕ (4,90 МПа). За високого вмісту ТВ (30% ДЧ / 30% ТВ) спостерігається критичне зниження межі міцності під час статичного згинання на основі обгортки з-під цукерок (падіння міцності становить 49,76%.) порівняно з ВПЕ. Це вказує на значну несумісність або погану інтеграцію полімеру обгортки з-під цукерок із великою часткою ТВ, що призводить до слабкості міжфазного шару та зниження загальної цілісності композиту під час згинання. ВПЕ, зберігає кращу здатність до взаємодії з наповнювачем навіть за несприятливого співвідношення ДЧ/ТВ.

Вплив складу деревинно-полімерної композиції на модуль пружності під час статичного згинання представлено на рисунку 3.2. Для обох полімерних матриць зафіксовано систематичне та значне зниження модуля пружності під час статичного згинання в міру зменшення вмісту ДЧ (і збільшення ТВ). ДПП на основі ВПЕ показали падіння від 541 МПа (при 50% ДЧ) до 222 МПа (при 30% ДЧ), що становить загальне зниження на 59%. Окрім того, ДПП на основі обгортки з-під цукерок показали падіння модуля пружності під час статичного згинання від 454 МПа до 124 МПа, що відповідає загальному зниженню на 73%. Ця тенденція підтверджує, що ДЧ є основним

жорстким армуючим наповнювачем. Заміна жорстких ДЧ на менш жорсткі ТВ безпосередньо призводить до зниження загальної жорсткості системи.

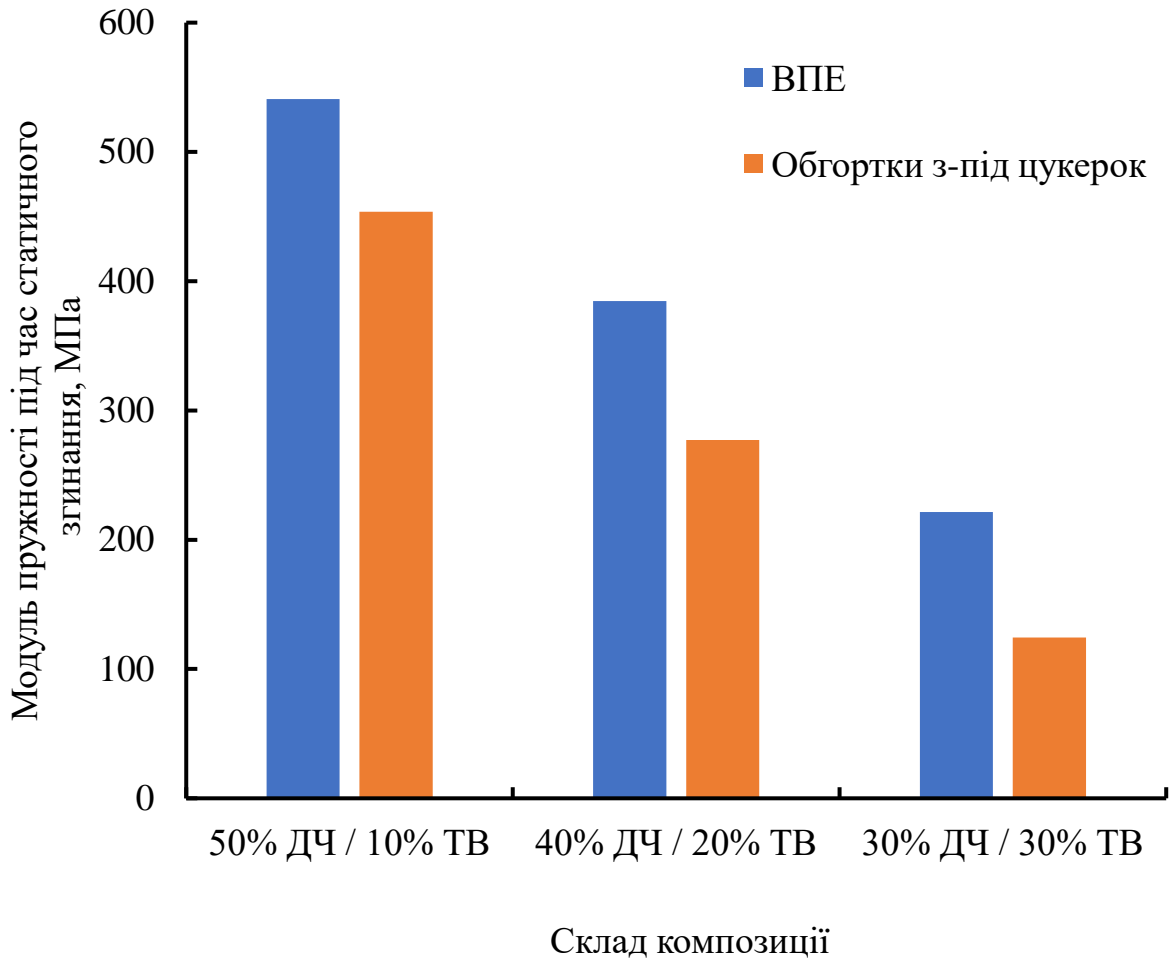


Рисунок 3.2. Вплив складу деревинно-полімерної композиції на модуль пружності ДПП під час статичного згинання

Окрім того, спостерігається чітке збільшення відносного розриву в жорсткості між двома матрицями в міру зростання частки ТВ. Навіть за високого вмісту ДЧ (50%), ДПП на основі обгортки з-під цукерок мають жорсткість на 16% нижчу, ніж ДПП на основі ВПЕ. Із збільшенням вмісту ТВ до 30%, модуль пружності під час статичного згинання у ДПП на основі обгортки з-під цукерок знижується до 124 МПа, що є на 44% меншим порівняно з ДПП на основі ВПЕ.

Це свідчить про нижчу ефективність матриці обгорток з-під цукерок у передачі напружень між полімером і наповнювачами. Збільшення частки ТВ, яке має гіршу сумісність/змочуваність, загострює цю проблему, що призводить до значного погіршення міжфазної адгезії та, як наслідок, до критичного падіння жорсткості. Для ВПЕ, незважаючи на падіння, ефективність армування зберігається відносно краще.

### **3.2. Вплив складу деревинно-полімерної композиції фізичні властивості ДПМ**

Вплив складу деревинно-полімерної композиції на набрякання за товщиною представлено на рисунку 3.3. Аналіз даних свідчить, що зі зменшенням частки ДЧ і збільшенням кількості ТВ відбувається зростання набрякання плит для обох типів полімерних основ. Таким чином, збільшення частки ТВ від 10% до 30% призводить до підвищення показника набрякання приблизно на 28% для зразків на основі ВПЕ та майже на 86% для зразків, виготовлених із обгорток з-під цукерок.

Вплив типу полімерної матриці є суттєвим, ДПП виготовлені з обгорток з-під цукерок, демонструють значно більшу схильність до набрякання, ніж ті, що базуються на ВПЕ. Це можна пояснити тим, що полімерні плівки з обгорток містять шари різнорідних полімерів (наприклад, поліетилентерефталат, поліпропілен, металізовані покриття), які мають гіршу сумісність із деревинними частинками та формують менш герметичну структуру після переробки. Унаслідок цього в матеріалі виникають мікропори, через які волога легко проникає в товщу плити. Натомість поліетиленова основа має гідрофобний характер і більш однорідну структуру, тому набрякання за товщиною у виробі із ВПЕ є суттєво нижчим.

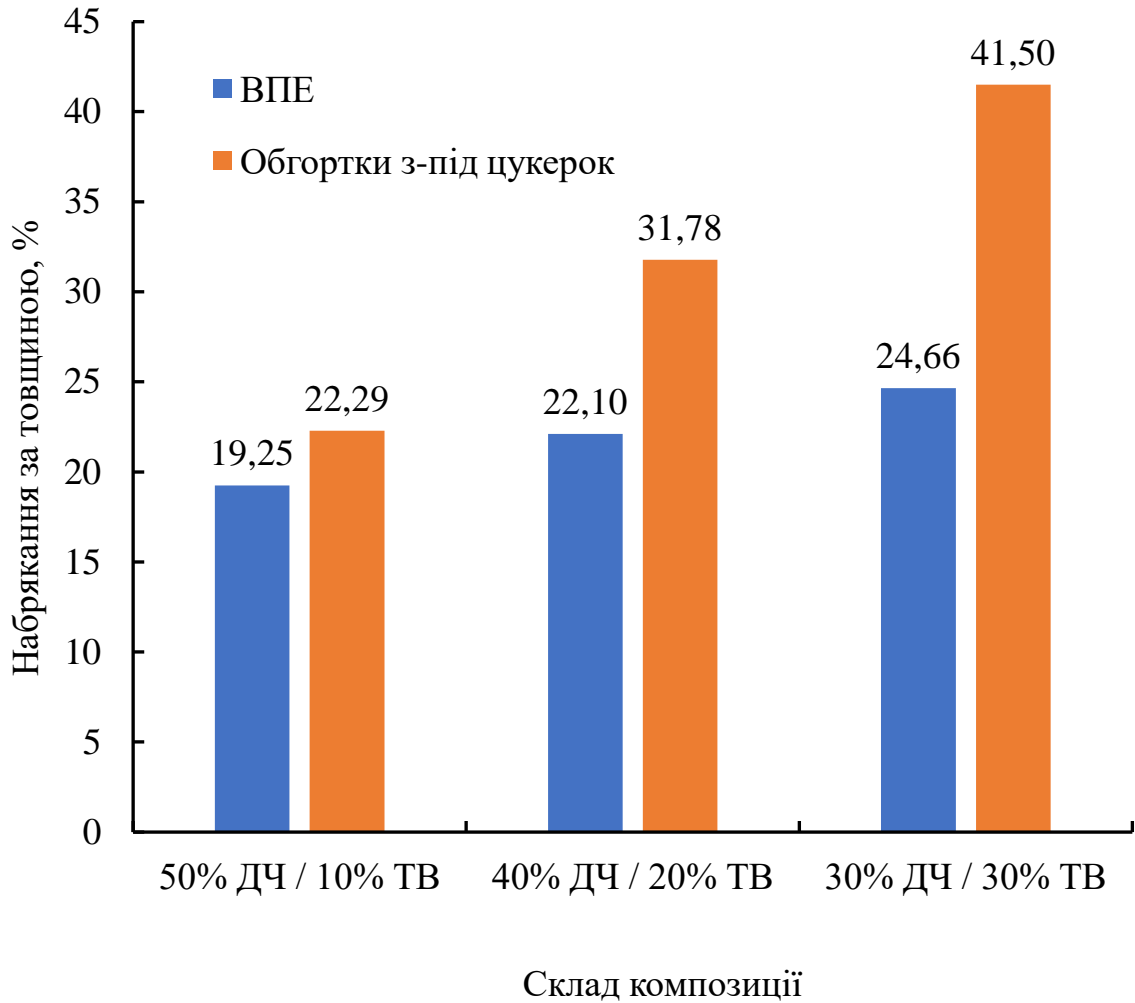


Рисунок 3.3. Вплив складу деревинно-полімерної композиції на набрякання ДПМ за товщиною

ДЧ хоча й підвищують гігроскопічність матеріалу, забезпечують кращу структурну цілісність і зчеплення з полімерною матрицею. ТВ, навпаки, мають волокнисту капілярну структуру, яка активно поглинає та утримує воду. Тому зі збільшенням їх частки в композиції плит відбувається посилення набрякання. Крім того, при зменшенні кількості ДЧ полімерна матриця не забезпечує достатнього зчеплення між волокнами ТВ, що додатково сприяє проникненню вологи.

На рисунку 3.4 показано залежність щільності ДПП від складу композиції, у якій варіюється вміст ДЧ та ТВ, а також використано два типи полімерних матриць (ВПЕ і відходи обгортки з-під цукерок).

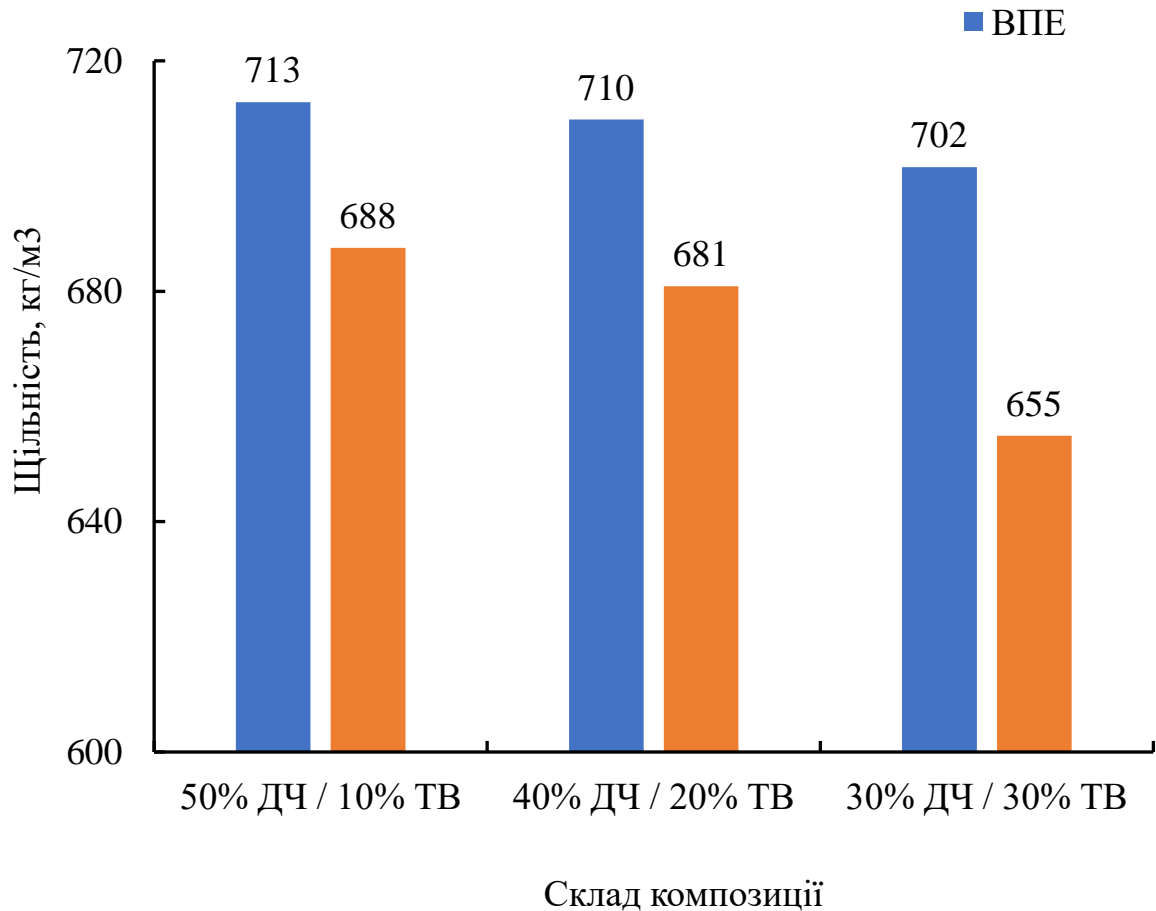


Рисунок 3.3. Вплив складу деревинно-полімерної композиції на щільність ДПМ

Загальна тенденція свідчить, що зі зменшенням частки деревинних частинок і збільшенням кількості текстильних відходів щільність матеріалу знижується незалежно від типу полімерної основи. При складі 50% ДЧ / 10% ТВ щільність становить 713 кг/м³ для ВПЕ і 688 кг/м³ для обгортки. Для композиції 40% ДЧ / 20% ТВ показники знижуються до 710 кг/м³ та 681 кг/м³ відповідно, а при 30% ДЧ / 30% ТВ — до 702 кг/м³ для ВПЕ та 655 кг/м³ для матеріалів з обгортки з-під цукерок. Отже, при збільшенні частки текстильних

відходів на 20% (з 10% до 30%) щільність зменшилася в середньому на 1,5% для плит на основі ВПЕ та на 4,8% для плит з обгортки.

Це свідчить, що текстильні відходи мають меншу густину порівняно з деревинними частинками, а їх волокниста структура утворює у матеріалі більшу кількість мікропорожнин, що знижує загальну щільність композиції. Крім того, гірша сумісність полімерної матриці з волокнами ТВ призводить до менш щільного контакту між компонентами, особливо у випадку матеріалів з обгортки з-під цукерок, де полімерна основа є багатошаровою та неоднорідною.

Порівнюючи два типи полімерних матриць, можна відзначити, що плити на основі ВПЕ мають стабільно вищу щільність (на 20–50 кг/м<sup>3</sup>) у всіх варіантах складу. Це пояснюється тим, що поліетилен забезпечує кращу текучість при пресуванні, що сприяє більш рівномірному заповненню простору між частинками й утворенню щільнішої структури. У випадку полімерів із обгортки з-під цукерок через різномірність полімерних шарів і слабке спікання формуються мікропорожнини, які знижують об'ємну масу матеріалу.

## ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

У цій роботі представлено інноваційний підхід до розробки екологічно ефективних композитних матеріалів, який не тільки сприяє повторному використанню текстильних відходів, тим самим зменшуючи вплив на навколишнє середовище, але й пропонує економічне та стале рішення для текстильної, деревообробної та полімерної промисловості.

Натуральні волокна мають численні переваги над синтетичними волокнами, такі як менша щільність, менша вага, дешевше виробництво, біорозкладність, низький ризик для здоров'я під час обробки, велика кількість та легкий доступ, низька вартість виробництва, низькі енергетичні потреби та низький рівень викидів CO<sub>2</sub>.

Для приготування деревинно-полімерної композиції застосовувалися відходи текстильного виробництва ДП «ГРІН КОТТОН ГРУП ЛЬВІВ» подрібнені на підприємстві ТОВ "Реінвентекс"; подрібнені відходи термозбіжної поліетиленової плівки; подрібнені обгортки з-під цукерок; деревинна стружка промислового виробництва ТОВ "СВІСС КРОНО".

Результати експериментальних досліджень підлягали статистичній обробці. Досліджували наступні властивості: визначення межі міцності та модуля пружності під час статичного згинання, щільність та набрякання за товщиною деревинно-полімерних матеріалів.

За високого вмісту ТВ (30% ДЧ / 30% ТВ) спостерігається критичне зниження межі міцності під час статичного згинання на основі обгортки з-під цукерок (падіння міцності становить 49,76%.) порівняно з ВПЕ. ДПП на основі обгортки з-під цукерок мають жорсткість на 16% нижчу, ніж ДПП на основі ВПЕ. Із збільшенням вмісту ТВ до 30%, модуль пружності під час статичного згинання у ДПП на основі обгортки з-під цукерок знижується до 124 МПа, що є на 44% меншим порівняно з ДПП на основі ВПЕ.

Аналіз даних свідчить, що зі зменшенням частки ДЧ і збільшенням кількості ТВ відбувається зростання набрякання плит для обох типів полімерних основ. Таким чином, збільшення частки ТВ від 10% до 30%

призводить до підвищення показника набрякання приблизно на 28% для зразків на основі ВПЕ та майже на 86% для зразків, виготовлених із обгортки з-під цукерок.

Деревинні частинки хоча й підвищують гігроскопічність матеріалу, забезпечують кращу структурну цілісність і зчеплення з полімерною матрицею. Текстильні волокна, навпаки, мають волокнисту капілярну структуру, яка активно поглинає та утримує воду. Тому зі збільшенням їх частки в композиції плит відбувається посилення набрякання.

Загальна тенденція демонструє, що зі зменшенням частки деревинних частинок і збільшенням вмісту текстильних відходів щільність композиційних матеріалів знижується незалежно від типу полімерної матриці. Для складу 50% ДЧ / 10% ТВ щільність становить 713 кг/м<sup>3</sup> для ВПЕ та 688 кг/м<sup>3</sup> для матеріалу на основі полімерних обгортки. Зі збільшенням вмісту текстильних відходів до 20% (40% ДЧ / 20% ТВ) щільність зменшується до 710 кг/м<sup>3</sup> і 681 кг/м<sup>3</sup> відповідно. Найнижчі показники спостерігаються за складу 30% ДЧ / 30% ТВ — 702 кг/м<sup>3</sup> для ВПЕ та 655 кг/м<sup>3</sup> для композицій з обгортки.

Отже, використання текстильних волокон можливе у виготовленні деревинно полімерних матеріалів. Потрібно здійснювати подальші дослідження для встановлення раціонального співвідношення між деревинними частинками, текстильними волокнами, полімером.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Wang, Y. Fiber and textile waste utilization. *Waste and Biomass Valorization*. 2010. Vol. 1, No. 2. P. 135–143. DOI: [10.1007/s12649-009-9005-y](https://doi.org/10.1007/s12649-009-9005-y).
2. Claudio, L. Waste couture: environmental impact of the clothing industry. *Environmental Health Perspectives*. 2007. Vol. 115, No. 9. P. A449–A454. DOI: [10.1289/ehp.115-a449](https://doi.org/10.1289/ehp.115-a449).
3. Bukhari, M. A., Carrasco-Gallego, R., Ponce-Cueto, E. Developing a national programme for textiles and clothing recovery. *Waste Management & Research*. 2018. Vol. 36, No. 4. P. 321–331. DOI: [10.1177/0734242X18759190](https://doi.org/10.1177/0734242X18759190).
4. Juanga-Labayen, J. P., Labayen, I. V., Yuan, Q. A review on textile recycling practices and challenges. *Textiles*. 2022. Vol. 2, No. 1. P. 174–188. DOI: [10.3390/textiles2010010](https://doi.org/10.3390/textiles2010010).
5. Fan, W. Q., Wang, Y. Z., Liu, R. L., Zou, J., Yu, X., Liu, Y. M., Zhi, C., Meng, J. G. Textile production by additive manufacturing and textile waste recycling: A review. *Environmental Chemistry Letters*. 2024. Vol. 22, No. 4. P. 1929–1987. DOI: [10.1007/s10311-023-01618-4](https://doi.org/10.1007/s10311-023-01618-4).
6. □ Luo, Y., Wu, X. Y., Ding, X. M. Environmental impacts of textiles in the use stage: A systematic review. *Sustainable Production and Consumption*. 2023. Vol. 36. P. 233–245. DOI: [10.1016/j.spc.2023.02.012](https://doi.org/10.1016/j.spc.2023.02.012).
7. Srichola, P., Witthayolankowit, K., Sukyai, P., Sampoompuang, C., Lobyam, K., Kampakun, P., Toomtong, R. Recycling of nanocellulose from polyester–cotton textile waste for modification of film composites. *Polymers*. 2023. Vol. 15, No. 16. Article 3324. DOI: [10.3390/polym15163324](https://doi.org/10.3390/polym15163324).
8. Patti, A., Cicala, G., Acierno, D. Eco-sustainability of the textile production: Waste recovery and current recycling in the composites world. *Polymers*. 2021. Vol. 13, No. 1. Article 134. DOI: [10.3390/polym13010134](https://doi.org/10.3390/polym13010134).
9. Wagaw, T., Babu, K. M. Textile waste recycling: A need for a stringent paradigm shift. *AATCC Journal of Research*. 2023. Vol. 10, No. 4. P. 376–385. DOI: [10.14504/ajr.10.4.8](https://doi.org/10.14504/ajr.10.4.8).

10. Sandin, G., Peters, G. M. Environmental impact of textile reuse and recycling—A review. *Journal of Cleaner Production*. 2018. Vol. 184. P. 353–365. DOI: [10.1016/j.jclepro.2018.02.266](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.266).
11. Burgada, F., Arrieta, M. P., Borrell, B., Fenollar, O. Development of eco-efficient composite from textile waste with polyamide matrix. *Polymers*. 2024. Vol. 16, No. 14. Article 2061. DOI: [10.3390/polym16142061](https://doi.org/10.3390/polym16142061).
12. Bodur, M. S., Sonmez, H. E., Bakkal, M. An investigation for the effect of recycled matrix on the properties of textile waste cotton fiber reinforced (T-FRP) composites. *Polymer Composites*. 2017. Vol. 38, No. 6. P. 1231–1240. DOI: [10.1002/pc.23646](https://doi.org/10.1002/pc.23646).
13. Huang, Z. Y., Xing, T. H., He, A. N., Luo, Y. X., Zhang, Y., Zhai, L. S., Mei, F., Liang, Z. H., Liu, X., Yu, Z. W. et al. Research progress on resource recycling and reusing of waste textiles. *Chinese Science Bulletin*. 2023. Vol. 68, No. 2. P. 188–203.
14. Todor, M. P., Rackov, M., Kiss, I., Cioata, V. G. Composite solutions with recycled textile wastes. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2022. Vol. 1217. Article 012034. DOI: [10.1088/1757-899X/1217/1/012034](https://doi.org/10.1088/1757-899X/1217/1/012034).
15. Rashid, M. E., Khan, M. R., Haque, R. U., Hasanuzzaman, M. Challenges of textile waste composite products and its prospects of recycling. *Journal of Material Cycles and Waste Management*. 2023. Vol. 25. P. 1267–1287. DOI: [10.1007/s10163-023-01617-7](https://doi.org/10.1007/s10163-023-01617-7).
16. Yadav, R., Kamble, Z. Textile waste-based cellulose composites: A review. *Journal of Materials Science*. 2024. Vol. 59. P. 7147–7168. DOI: [10.1007/s10853-024-09526-8](https://doi.org/10.1007/s10853-024-09526-8).
17. Khalili, P., Skrifvars, M., Dhakal, H. N., Dashatan, S. H., Danielsson, M., Gràcia, A. F. Mechanical properties of bio-based sandwich composites containing recycled polymer textiles. *Polymers*. 2023. Vol. 15, No. 18. Article 3815. DOI: [10.3390/polym15183815](https://doi.org/10.3390/polym15183815).

18. Shafqat, A. R., Hussain, M., Nawab, Y., Ashraf, M., Ahmad, S., Batool, G. Circularity in materials: A review on polymer composites made from agriculture and textile waste. *International Journal of Polymer Science*. 2023. Vol. 2023. Article 5872605. DOI: 10.1155/2023/5872605.
19. Ghabezi, P., Sam-Daliri, O., Flanagan, T., Walls, M., Harrison, N. M. Circular economy innovation: A deep investigation on 3D printing of industrial waste polypropylene and carbon fibre composites. *Resources, Conservation & Recycling*. 2024. Vol. 206. Article 107667. DOI: 10.1016/j.resconrec.2024.107667.
20. Patel, K. S., Shah, D. B., Joshi, S. J., Patel, K. M. Developments in 3D printing of carbon fiber reinforced polymer containing recycled plastic waste: A review. *Clean Materials*. 2023. Vol. 9. Article 100207. DOI: 10.1016/j.clema.2023.100207.
21. Precedence Research. Textile Waste Management Market Size, Share, Growth, Trends, Report 2024–2033. Available online: <https://www.precedenceresearch.com/textile-waste-management-market> (accessed on 15 March 2025).
22. Juanga-Labayen, J. P.; Labayen, I. V.; Yuan, Q. A review on textile recycling practices and challenges. *Textiles*. 2022. Vol. 2, No. 1. P. 174–188. DOI: [10.3390/textiles2010010](https://doi.org/10.3390/textiles2010010).
23. Ekström, K. M.; Salomonson, N. Reuse and recycling of clothing and textiles—A network approach. *Journal of Macromarketing*. 2014. Vol. 34, No. 3. P. 383–399. DOI: 10.1177/0276146714529658.
24. Rana, S.; Pichandi, S.; Moorthy, S.; Bhattacharyya, A.; Parveen, S.; Figueiro, R. Carbon footprint of textile and clothing products. In: *Sustainable Fibres and Textiles*. Eds. S. S. Muthu. CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, 2015. P. 141–166. DOI: 10.1201/b18428-10.
25. Chavan, R. B. Environmental sustainability through textile recycling. *Journal of Textile Science & Engineering*. 2014. Vol. S2. Article 007. DOI: [10.4172/2165-8064.S2-007](https://doi.org/10.4172/2165-8064.S2-007).

26. Loo, S. L.; Yu, E.; Hu, X. Tackling critical challenges in textile circularity: A review on strategies for recycling cellulose and polyester from blended fabrics. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 2023. Vol. 11, Article 110482. DOI: [10.1016/j.jece.2023.110482](https://doi.org/10.1016/j.jece.2023.110482).
27. Chen, X.; Memon, H. A.; Wang, Y.; Marriam, I.; Tebyetekerwa, M. Circular economy and sustainability of the clothing and textile industry. *Materials Circular Economy*. 2021. Vol. 3, No. 1. Article 3. DOI: [10.1007/s42824-021-00026-2](https://doi.org/10.1007/s42824-021-00026-2).
28. Abidnejad, R.; Baniasadi, H.; Fazeli, M.; Lipponen, S.; Kontturi, E.; Rojas, O. J.; Mattos, B. D. High-fiber content composites produced from mixed textile waste: Balancing cotton and polyester fibers for improved composite performance. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2025. Vol. 292. Article 139227. DOI: [10.1016/j.ijbiomac.2024.139227](https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.139227).
29. Ellen MacArthur Foundation. *A New Textiles Economy: Redesigning Fashion's Future*. Cowes, UK: Ellen MacArthur Foundation, 2017. Available online: <https://ellenmacarthurfoundation.org/publications> (accessed on 15 March 2020).
30. Ailenei, E. C.; Loghin, C.; Ichim, M.; Hoblea, A. New composite materials using polyester woven fabric scraps as reinforcement and thermoplastic matrix. *Industria Textilă*. 2021. Vol. 72, No. 1. P. 62–67. DOI: [10.35530/IT.072.01.1803](https://doi.org/10.35530/IT.072.01.1803).
31. Ailenei, E. C.; Ionesi, S. D.; Dulgheriu, I.; Loghin, M. C.; Isopescu, D. N.; Maxineasa, S. G.; Baci, I.-R. New waste-based composite material for construction applications. *Materials*. 2021. Vol. 14, No. 20. Article 6079. DOI: [10.3390/ma14206079](https://doi.org/10.3390/ma14206079).
32. Murdiyanto, D. Potensi serat alam tanaman Indonesia sebagai bahan fiber reinforced composite kedokteran gigi. *Jurnal Material Kedokteran Gigi*. 2017. Vol. 6, No. 1. P. 14–22.
33. Karimah, A.; Ridho, M. R.; Munawar, S. S.; Adi, D. S.; Ismadi; Damayanti, R.; Subiyanto, B.; Fatriasari, W.; Fudholi, A. A review on natural fibers for development of eco-friendly bio-composite: Characteristics and utilizations.

Journal of Materials Research and Technology. 2021. Vol. 13. P. 2442–2458. DOI: 10.1016/j.jmrt.2021.05.028.

34. Tamta, M. Textile fibers: Production, classification, properties, morphology and care. In: Basics of Community Science. 2024. P. 110–120.

35. Sinclair, R. Understanding textile fibres and their properties: What is a textile fibre? In: Textiles and Fashion: Materials, Design and Technology. Ed. R. Sinclair. Woodhead Publishing, Elsevier, 2015. P. 3–27. DOI: 10.1016/B978-1-84569-931-4.00001-5.

36. Opperskalski, S.; Evonne, S.; Truscott, T. Textile Exchange Preferred Fiber & Materials Market Report 2019. Textile Exchange, Lamesa, USA, 2019. Available online: <https://textileexchange.org/wp-content/uploads/2019/11/Textile-Exchange-Preferred-Fiber-Material-Market-Report-2019.pdf> (accessed on 15 March 2020).

37. Marczak, D.; Lejcuś, K.; Misiewicz, J. Characteristics of biodegradable textiles used in environmental engineering: A comprehensive review. Journal of Cleaner Production. 2020. Vol. 268. Article 122129. DOI: [10.1016/j.jclepro.2020.122129](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122129).

38. Texsuppliers. Classification of Textile Fiber with Examples. Available online: <https://texsuppliers.com/classification-of-textile-fiber-with-examples> (accessed on 20 March 2025).

39. Ailenei, E. C.; Ionesi, S. D.; Dulgheriu, I.; Loghin, M. C.; Isopescu, D. N.; Maxineasa, S. G.; Baci, I.-R. New waste-based composite material for construction applications. Materials. 2021. Vol. 14, No. 20. Article 6079. DOI: [10.3390/ma14206079](https://doi.org/10.3390/ma14206079).

40. La Mantia, F.; Morreale, M. Green composites: A brief review. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing. 2011. Vol. 42, No. 6. P. 579–588. DOI: 10.1016/j.compositesa.2011.01.017.

41. Schwarzkopf, M. J.; Burnard, M. D. Wood–plastic composites—Performance and environmental impacts. In: Environmental Impacts of Traditional

and Innovative Forest-Based Bioproducts. Eds. A. Kutnar, S. S. Muthu. Springer, Singapore, 2016. P. 19–43. DOI: 10.1007/978-981-10-0655-5\_2.

42. Peças, P.; Carvalho, H.; Salman, H.; Leite, M. Natural fibre composites and their applications: A review. *Journal of Composites Science*. 2018. Vol. 2, No. 4. Article 66. DOI: [10.3390/jcs2040066](https://doi.org/10.3390/jcs2040066).

43. Rohit, K.; Dixit, S. A review—Future aspect of natural fiber reinforced composite. *Polymers from Renewable Resources*. 2016. Vol. 7, No. 2. P. 43–59. DOI: 10.1177/204124791600700202.

44. Ramamoorthy, S. K.; Skrifvars, M.; Persson, A. A review of natural fibers used in biocomposites: Plant, animal and regenerated cellulose fibers. *Polymer Reviews*. 2015. Vol. 55, No. 1. P. 107–162. DOI: 10.1080/15583724.2014.971124.

45. Zajchowski, S.; Ryszkowska, J. Kompozyty polimerowo-drzewne Charakterystyka ogólna oraz ich otrzymywanie z materiałów odpadowych. *Polimery* 2009, 10, 674–682. [[CrossRef](#)]

46. Gozdecki C., Kociszewski M., Wilczyński A., Zajchowski S., 2009: Mechanical properties of wood/polypropylene composite with coarse wood particles. Effect of specimen size. *Annals of Warsaw University of Life Science – SGGW. Forestry and Wood Technology*. No 68, s. 283-287.

47. Letman, M.; et al. Physico-mechanical and technological characteristics of propylene and wood-based composites. In: *Proceedings of the 5th Global Wood and Natural Fibre Composites Symposium, Kassel, Germany, 2004*.

48. Kikuchi, T. Opportunities for interior furniture in wood plastics composites – A Japanese perspective. In: *Wood Plastic Composites Conference, Vienna, Austria, 2003*.

49. Kaczmar, J. W.; Pach, J.; Kozłowski, R. Use of natural fibres as fillers for polymer composites. *International Polymer Science and Technology*. 2006. Vol. 33, No. 11. Reference PT 06/10/722. Transl. serial no. 15678.

50. Todor, M. P.; Bulei, C.; Kiss, I.; Cioată, V. G. Recycling of textile wastes into textile composites based on natural fibres: The reinforcement type and

the architecture. In: Proceedings of the International Conference on Applied Sciences 2018 (ICAS 2018), Sukoharjo, Indonesia, 6–7 October 2018. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Bristol: Institute of Physics Publishing, 2019. Vol. 477, Article 012036. DOI: 10.1088/1757-899X/477/1/012036.

51. Araújo, R. S.; Rezende, C. C.; Marques, M. F. V.; Ferreira, L. C.; Russo, P.; Errico, M. E.; Avolio, R.; Avella, M.; Gentile, G. Polypropylene-based composites reinforced with textile wastes. *Journal of Applied Polymer Science*. 2017. Vol. 134, Article 45060. DOI: 10.1002/app.45060.

52. Boujmal, R.; Essabir, H.; Nekhlaoui, S.; Bensalah, M. O.; Bouhfid, R.; Qaiss, A. e. K. Composite from polypropylene and henna fiber: Structural, mechanical and thermal properties. *Journal of Biobased Materials and Bioenergy*. 2014. Vol. 8, No. 3. P. 246–252. DOI: 10.1166/jbmb.2014.1442.

53. Essabir, H.; Bensalah, M. O.; Rodrigue, D.; Bouhfid, R.; Qaiss, A. e. K. Biocomposites based on Argan nut shell and a polymer matrix: Effect of filler content and coupling agent. *Carbohydrate Polymers*. 2016. Vol. 143. P. 70–83. DOI: 10.1016/j.carbpol.2016.02.010.

54. Gao, X.; Li, Q.; Cheng, W.; Han, G.; Xuan, L. High-temperature and pressurized steaming/silane coupling co-modification for wood fibers and its effect on the properties of wood fiber/HDPE composites. *Macromolecular Research*. 2017. Vol. 25, No. 2. P. 141–150. DOI: 10.1007/s13233-017-5014-x.

55. Chen, F.; Han, G.; Li, Q.; Gao, X.; Cheng, W. High-temperature hot-air/silane coupling modification of wood fiber and its effect on properties of wood fiber/HDPE composites. *Materials*. 2017. Vol. 10, No. 3. Article 286. DOI: 10.3390/ma10030286.

56. Yang, M.; Su, J.; Zheng, Y.; Fang, C.; Lei, W.; Li, L. Effect of different silane coupling agents on properties of waste corrugated paper fiber/poly(lactic acid) composites. *Polymers*. 2023. Vol. 15, No. 17. Article 3525. DOI: 10.3390/polym15173525.

57. Li, C.; Cui, Y.; Xing, W.; Pei, X.; Song, J.; Wang, L. Secondary silane grafting on aramid fibers improves the interfacial bonding performance in textile composite materials. *Journal of Composite Materials*. 2022. Vol. 56, No. 29. P. 4421–4432. DOI: 10.1177/00219983221109806.

58. Abidnejad, R.; Baniasadi, H.; Fazeli, M.; Lipponen, S.; Kontturi, E.; Rojas, O. J.; Mattos, B. D. High-fiber content composites produced from mixed textile waste: Balancing cotton and polyester fibers for improved composite performance. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2025. Vol. 292. Article 139227. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2024.139227.

59. Wankhede, B.; Bisaria, H.; Ojha, S.; Dakre, V. S. A review on cotton fibre-reinforced polymer composites and their applications. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part L: Journal of Materials: Design and Applications*. 2022. Vol. 237, No. 7. P. 1347–1362. DOI: 10.1177/14644207221143876.

60. Пилипчук, М. І.; Григор'єв, А. С.; Шостак, В. В. Основи наукових досліджень. – Київ : Знання, 2007. – 270 с.

61. Дудюк, Д. Л. Основи моделювання і оптимізації процесів і систем лісового комплексу: навч. посіб. – Львів : Львівський лісотехнічний інститут, 1992. – 292 с.

62. ДСТУ EN 310:2003. Плити деревинні. Визначення модулів пружності при вигині та міцності при статичному згині. – Чинний від 2004-01-01. – Київ : Держспоживстандарт України, 2003. – 8 с.

63. ДСТУ EN 326-1:2006. Плити деревинні. Методи випробування. Частина 1. Відбір зразків, підготовка зразків і загальні вимоги до випробування. – Чинний від 2006-10-01. – Київ : Держспоживстандарт України, 2006. – 15 с.

64. ДСТУ EN 325:2008. Плити деревинні. Визначення розмірів зразків. – Чинний від 2009-01-01. – Київ : Держспоживстандарт України, 2008. – 7 с.

65. ДСТУ EN 323:2008. Плити деревинні. Визначення густини. – Чинний від 2009-01-01. – Київ : Держспоживстандарт України, 2008. – 8 с.
66. ДСТУ 4761:2007. Плити деревинні. Методи визначення вологості. – Чинний від 2008-01-01. – Київ : Держспоживстандарт України, 2007. – 16 с.