

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ АГРОВІДХОДІВ У ВИРОБНИЦТВІ ПАКУВАЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

Корнелюк О.А., Козар М.Ю.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, oxanakorneliuk@gmail.com

Abstract

In response to increasing environmental concerns and limited access to imported materials, this study explores the use of agricultural waste as natural reinforcing fillers for starch-based bioplastics. The results demonstrated that fillers like ground peanut shells and corn residues improve the mechanical strength and flexibility of bioplastics, with compressed sunflower husk granules offering the highest hardness. These findings support the development of cost-effective, biodegradable materials using locally available resources in Ukraine.

Keywords: *bioplastics, agricultural waste, reinforcing fillers, starch, properties.*

Вступ. Розвиток індустрії біопластиків в Україні є важливим через відмову від синтетичних полімерів. Відсутність доступних зарубіжних матеріалів та національного виробництва стимулює подальші дослідження і створення локальних технологій [1]. Однак висока вартість біопластиків, зокрема PLA та PHA, є основною перешкодою для їхнього широкого використання [2].

Для зниження вартості та покращення властивостей біопластиків додають синтетичні наповнювачі, але це може знижувати їхню біорозкладність. Тому пошук природних наповнювачів, таких як рослинні сільськогосподарські відходи, є актуальним. Крохмаль, завдяки своїй еластичності та міцності, використовується для виготовлення біопластиків, але потребує модифікації для покращення механічних властивостей. Рослинні сільськогосподарські відходи можуть стати перспективними армувальними матеріалами, що підвищують міцність біопластиків на основі крохмалю [2].

Метою дослідження є пошук альтернативних наповнювачів для модифікації біопластиків із застосуванням сільськогосподарських відходів та оцінка впливу їх типу на візуальні, структурні й механічні властивості плівкових матеріалів, зокрема на здатність утримувати форму, міцність, еластичність і жорсткість.

Матеріали та методи Для дослідження біорозкладного пластику було використано картопляний крохмаль відповідно до ДСТУ 4286:2004. З метою покращення механічних властивостей крохмалевих біопластиків досліджувалось додавання сільськогосподарських відходів як армувальних наповнювачів [3].

Було обрано п'ять типів відходів, які є побічними продуктами агровиробництва, мають високу доступність, низьку вартість і значний вміст целюлози та лігніну, що дає змогу підвищити міцність і довговічність полімерних матеріалів. Також це сприяє біодеградації готового продукту [3].

Серед обраних наповнювачів досліджували: відходи кукурудзи (стебла, листя, качани), які містять близько 43% целюлози та 18% лігніну; подрібнене лушпиння арахісу з вмістом до 45% целюлози та 35% лігніну; спресоване в пелети лушпиння соняшника (промислового виробництва), вологість якого не

перевищує 8,6%; подрібнене лушпиння насіння соняшнику, хімічний склад якого залежить від сорту, але містить до 42% целюлози, до 30% лігніну і значну частку пентозанів; а також технічна волокниста целюлоза, одержана сульфітним та лужним способом з рослинної сировини [4].

Для надання пластичності суміші застосовували гліцерин як пластифікатор. Отримані суміші нагрівали до температури 90 °C із постійним перемішуванням. У результаті утворювався однорідний розчин із характерною опалесценцією та рівномірним розподілом частинок наповнювача. Тривалість сушіння залежала від виду наповнювача і становила від 3,5 до 6 годин. Після сушіння зразки піддавали візуальному аналізу та механічному тестуванню. Отримані результати дали змогу оцінити рівномірність розподілу наповнювачів, твердість, міцність і здатність зберігати форму біопластикових зразків [5-6].

Результати та обговорення. У ході дослідження було отримано серію біополімерних зразків на основі крохмалю з додаванням різних типів рослинних наповнювачів, зокрема агровідходів.

Контрольний зразок без додавання наповнювачів мав гладку прозору поверхню та високу еластичність. Він вільно деформувався без тріщин, але виявляв низьку здатність утримувати форму під зовнішнім тиском. Це свідчить про те, що крохмальний полімер без армувальних компонентів має недостатню механічну стабільність для практичного використання.

Додавання гранульованого лушпиння соняшника привело до формування щільного матеріалу з грубою, зернистою поверхнею. Цей зразок мав найвищу здатність протистояти зовнішньому тиску, демонструючи жорсткість і міцність. Однак така структура впливала на гнучкість – зразок був ламким під час згину, що обмежує його застосування в тих сферах, де потрібна еластичність.

Зразок з роздавленим лушпинням соняшника показав подібну міцність, але мав менш однорідну структуру. Нерівномірний розподіл частинок спричиняв локальні зони напруження в матеріалі, що ускладнювало утримання форми та призводило до крихкості під час згинання.

Подрібнене лушпиння арахісу дало один із найзбалансованіших результатів. Матеріал мав рівномірну текстуру, стабільну форму та гнучкість, достатню для уникнення розривів після механічного навантаження. Його структура виявилася достатньо щільною, щоб забезпечити жорсткість, але зберегла пружність, що робить цей варіант ефективним у створенні пакувальних матеріалів із підвищеною зносостійкістю.

Додавання кукурудзяних відходів дало матеріал із гладкою поверхнею та доброю візуальною однорідністю. Його здатність утримувати форму була кращою, ніж у контрольного зразка, проте поступалася зразкам із лушпинням арахісу та соняшника за жорсткістю. Матеріал виявився достатньо еластичним для гнучких упаковок і потенційно придатний для виготовлення одноразових плівок.

Целюлозне волокно з технічної сировини дало м'який, але стабільний

матеріал. Він мав дещо вологоутримуючі властивості, зберігав форму після висихання, але поступався в жорсткості всім іншим зразкам. Попри це, він не розтріскувався після згину і зберігав свою цілісність, що свідчить про гарну пластичність.

Усі отримані матеріали підтвердили залежність властивостей біополімерів від типу та структури рослинного наповнювача. Здатність утримувати форму, жорсткість, міцність та еластичність змінювалися залежно від якості подрібнення, хімічного складу агровідходів та їх взаємодії з крохмальним полімером. Отримані полімерні матеріали, армовані різними наповнювачами на основі подрібнених відходів сільського господарства наведені на рисунку 1.

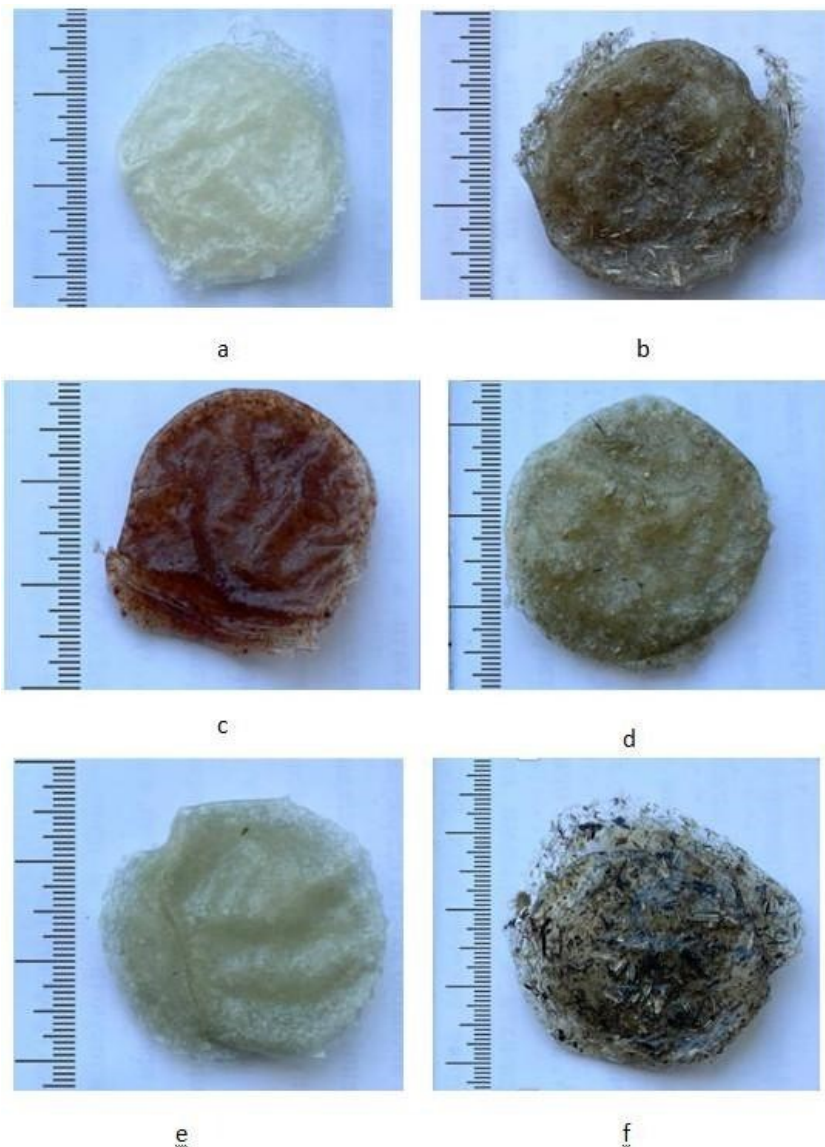


Рис.1. Отримані полімерні матеріали, армовані різними наповнювачами на основі подрібнених відходів сільського господарства; а) біопластик на основі крохмалю без наповнювачів; б) відходи кукурудзи (сухі стебла, листя, качани); с) подрібнене лушпиння арахісу; d) спресоване в гранули лушпиння соняшника; е) технічне целюлозне волокно; f) подрібнене лушпиння соняшника.

Таким чином, тип наповнювача та ступінь його подрібнення значною мірою впливають на структурно-механічні властивості отриманих полімерів. Найбільш збалансованими з точки зору міцності, пластичності та рівномірності розподілу наповнювача є зразки з подрібненим арахісовим лушпинням, тоді як найвищу жорсткість демонструє гранульоване лушпиння соняшника, яке може бути корисним у випадках, де критично важлива твердість матеріалу.

Висновки. Отримані результати свідчать про те, що додавання агровідходів до крохмальних полімерів суттєво впливає на їхні фізико-механічні властивості, зокрема на жорсткість, міцність, еластичність і здатність утримувати форму. Візуальний аналіз продемонстрував, що використання наповнювачів дає змогу змінювати структуру плівкових матеріалів у бажаному напрямку залежно від потреб.

Найбільш збалансованим зразком виявився матеріал із подрібненим лушпинням арахісу, який поєднав в собі високу однорідність, задовільну гнучкість та стабільність форми. Гранульоване лушпиння соняшника забезпечило найжорсткішу структуру, що може бути корисною для виробів, де критично важлива міцність, хоча й має обмежену гнучкість. Кукурудзяні відходи та целюлозне волокно забезпечили кращу гладкість і еластичність, але поступаються в жорсткості.

Таким чином, використання агровідходів як функціональних наповнювачів є перспективним методом їх утилізації та водночас шляхом до створення екологічно чистих біопластиків із регульованими властивостями. Це відкриває нові можливості для розвитку біорозкладної упаковки та інших видів продукції з покращеними характеристиками за збереження екологічної орієнтації виробництва.

Список використаної літератури:

1. Ранакоті Л., Гангіл В., Мішра С. К., Сінгх Т., Шарма С., Ільяс Р. А., Ель-Хатіб С. Критичний огляд полімолочної кислоти: Властивості, структура, переробка, біокомпозити та нанокомпозити. *Mater.* 2022, 15 (12):4312. <https://doi.org/10.3390/ma15124312>
2. Стасішкене Ж., Барбір Я., Драудвіліене Л., Чонг З., Кухта К., Воронова В., Леаль Фільо В., Виклики та стратегії поводження з пластиковими відходами на біологічній основі та такими, що біологічно розкладаються, в Європі. *Сталий розвиток.* 2022, 14(24):16476. <http://dx.doi.org/10.3390/su142416476>
3. Коста А., Енкарнасан Т., Таварес Р., Тодо Бом Т., Матеус А., Біопластик: Інновації для зеленого переходу. *Полімери.* 2023, 15(3):517. <https://doi.org/10.3390/polym15030517>
4. Голуб Н. Б., Щурська К. О., Кузьмінський Є. В., Лабораторний практикум з біомаси: навчальний посібник. Київ, 2021. 76 с. (українською мовою).
5. Сафітрі А., Хідаяті Х., Еві Ю., Роль різних добавок пластифікаторів та наповнювачів у покращенні міцності на розрив біопластиків на основі крохмалю: Міні-огляд. *Серія конференцій ВГД: Наука про Землю та навколишнє середовище.* 2022, 1115(1):012076. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1115/1/012076>
6. Мохаммед А. А. Б. А., Ель-Бакри А., Салама Х. Е., Халіл Х. А., Кукурудза: Її структура, полімер, волокно, композит, властивості та застосування. *Полімери.* 2022, 14(20):4396. <https://doi.org/10.3390/polym14204396>