УДК 677.072.6 DOI https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2025.3.1.13

О. В. ІЩЕНКО
доктор технічних наук, доцент,
професор кафедри промислової фармації
Київський національний університет технологій та дизайну
ORCID: 0000-0002-9510-6005

Р. М. МОСКАЛЬ
аспірант кафедри хімічної технології та ресурсозбереження
Київський національний університет технологій та дизайну
ORCID: 0009-0006-1004-5917

ТЕХНОЛОГІЇ ОДЕРЖАННЯ ЕКОЛОГІЧНОГО ПОСУДУ

Метою даної роботи було вивчення можливості створення біорозкладного посуду на основі кукурудзяного крохмалю та визначення оптимального методу його виробництва. Як полімерну композицію було обрано суміш кукурудзяного крохмалю та полівінілового спирту, з додаванням гліцерину в якості пластифікатора. Дослідження проводилися шляхом порівняння двох основних технологічних процесів, перший – лиття під тиском та другий – екструзії з подальшим пресуванням.

Експериментальна частина включала розробку складу полімерної композиції та одержання зразків за двома технологіями. Екструзію матеріалу здійснювали на одношнековому лабораторному екструдері (Brabender) та лиття на ливарній машині ТПА ДЕ3330.Ф1. Після виготовлення готових виробів було проведено комплексне дослідження їхніх властивостей, зокрема сорбційних та фізико-механічних. Це дозволило оцінити міцність, стійкість до вологи та інші ключові характеристики, які є критичними для посуду на основі водорозчинного та природного полімерів.

Результати досліджень показали, що зразки, виготовлені методом лиття під тиском, мали значно кращі сорбційні та фізико-механічні властивості порівняно зі зразками, одержаними шляхом екструзії. Це свідчить про перевагу методу лиття під тиском для отримання високоякісних виробів з даної полімерної композиції.

Наукова новизна роботи полягає в тому, що вперше було проведено порівняльне дослідження впливу різних методів виготовлення на властивості екологічного посуду з кукурудзяного крохмалю. Це відкриває нові можливості для оптимізації виробничих процесів. Практична значимість дослідження полягає в розширенні асортименту екологічного посуду на сучасному ринку, пропонуючи новий, повністю біорозкладний продукт на основі доступної в Україні сировини.

Ключові слова: *лиття під тиском, екструзія, крохмаль, полівініловий спирт, одноразовий посуд.*

O. V. ISHCHENKO
Doctor of Technical Sciences, Associate Professor,
Professor at the Department of Industrial Pharmacy
Kyiv National University of Technologies and Design
ORCID: 0000-0002-9510-6005

R. M. MOSKAL
Postgraduate Student at the Department of Chemical Technologies
and Resource Saving
Kyiv National University of Technologies and Design
ORCID: 0009-0006-1004-5917

TECHNOLOGIES FOR PRODUCING ECO-FRIENDLY TABLEWARE

The aim of this work was to study the possibility of creating biodegradable tableware based on corn starch and to determine the optimal method for its production. A mixture of corn starch and polyvinyl alcohol was selected as the polymer composition, with the addition of glycerin as a plasticizer. The research was conducted by comparing two main technological processes, the first being injection moulding and the second being extrusion followed by pressing.

The experimental part included the development of the polymer composition and the production of samples using two technologies. The material was extruded on a single-screw laboratory extruder (Brabender) and moulded on a DE3330.F1 injection moulding machine. After the finished products were manufactured, a comprehensive study of their properties, in particular sorption and physical-mechanical properties, was carried out. This made it possible to evaluate the strength,

© Іщенко О. В., Москаль Р. М., 2025
Стаття поширюється на умовах ліцензії CC BY 4.0

moisture resistance and other key characteristics that are critical for tableware based on water-soluble and natural polymers.

The results of the research clearly showed that the samples made by injection moulding had significantly better sorption and physical-mechanical properties compared to the samples obtained by extrusion. This indicates the advantage of the injection moulding method for obtaining high-quality products from this polymer composition.

The scientific novelty of the work lies in the fact that, for the first time, a comparative study was conducted on the influence of different manufacturing methods on the properties of eco-friendly tableware made from corn starch. This opens up new opportunities for optimising production processes. The practical significance of the study lies in expanding the range of eco-friendly tableware on the modern market by offering a new, fully biodegradable product based on raw materials available in Ukraine.

Key words: *injection molding, extrusion, starch, polyvinyl alcohol, disposable tableware.*

Постановка проблеми

Забезпечення екологічної безпеки є одним з найактуальніших викликів сучасності, де проблема забруднення навколишнього середовища побутовими відходами набула катастрофічних масштабів. Особливе місце серед них посідає пластиковий посуд, що виготовляється з невідновлюваної сировини – нафти. Деякі види цього пластику розкладаються протягом сотень років, перетворюючись на мікропластик, який проникає у ґрунт, воду та харчові ланцюги.

Одним із підходів до вирішення цієї проблеми є вторинна переробка полімерів, але навіть цей процес є ресурсомістким і вимагає спеціального обладнання. Усвідомлюючи всю гостроту ситуації, наукова спільнота активно працює над створенням інноваційних рішень, які могли б кардинально змінити ситуацію.

Ідея використання біорозкладного посуду, який є не просто альтернативою, а запорукою екологічного майбутнього. На відміну від традиційного пластику, такий посуд розкладається за значно коротший термін, повертаючись до природи без шкоди. Екологічний посуд – це не лише зручне рішення для повсякденного використання, а й свідомий крок назустріч збереженню нашої планети для майбутніх поколінь [1].

Біорозкладні вироби в теперішній час набули популярності. Термін придатності біорозкладних матеріалів, в умовах природного середовища та природного клімату, коливається від півтора місяця до трьох років. Поетапний перехід до виготовлення біорозкладної продукції вважається важливою соціально-відповідальною місією [2].

Одним із видів сировини для виробництва екологічного посуду, став крохмаль. Одноразовий посуд, отриманий з кукурудзяний крохмалю має одні з найвищих технічних характеристик, які зумовлені відсутністю шкідливих речовин, і простою утилізацією.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

В останні роки дослідники зосередилися на біополімерах, таких як білки та вуглеводи для виробництва пластмас. Серед біополімерів більшу увагу приділено крохмалю через широку доступність і низьку вартість [3].

Нативний крохмаль не можна розглядати як термопластичний полімер, оскільки сильний міжмолекулярний водневий зв'язок запобігає плавленню [4]. Але при наявності пластифікаторів, міжмолекулярні зв'язки послаблюються, і крохмаль може розплавлятися при високій температурі під напругою зсуву [3].

Додавання пластифікаторів до крохмалю призводить до зменшення міжмолекулярних зв'язків, збільшення рухливості ланцюга, зниження температури склування, що покращує пластичність і розтяжність [5]. Але отримані матеріали на основі термопластичного крохмалю (ТПК) змінюють механічні властивості залежно від зміни відносної вологості зовнішнього середовища. Цей недолік обмежує використання матеріалів на основі ТПК, тому є актуальним модифікація крохмалю або створення полімерної композиції з використанням синтетичних полімерів, які забезпечать необхідні технологічні показники.

Відомі композиції ТПК з полікапролактоном, полімолочною кислотою та полівініловим спиртом (ПВС) [6, 7]. Введення ПВС у крохмаль покращує термічні та механічні властивості матеріалу і таким чином модифікує структуру полімеру як на молекулярному, так і на морфологічному рівні [4, 8].

Формулювання мети дослідження

Метою дослідження є розробка складу та технології одержання екологічного посуду з полімерної композиції на основі крохмалю та полівінілового спирту.

Викладення основного матеріалу дослідження

Підготовка полімерної композиції. 1 етап підготовка крохмалю (Кр): 80 мас.ч. кукурудзяного крохмалю (10,3 % вологи) і 20 мас.ч. гліцерину (0,2 % вологи) змішували у міксері протягом 10 хв.

ІІ етап підготовка полівінілового спирту (ПВС): до 10 мас.ч. гліцерину додавали 35 мас.ч. води, Суміш перемішували при кімнатній температурі і під час перемішування додавали 55 мас.ч. ПВС. Розчин нагрівали до 85 °С протягом 30 хв.

Отриману суміш потім змішували з крохмалем у міксері при кімнатній температурі (24 °С). Полімерна композиція ПВС/Кр містили 10 г ПВС (кінцева концентрація 9,1 %) і 100 г крохмалю, вміст гліцерину 20 %. Усі композиції екструдували через одношнековий лабораторний екструдер (Brabender) та отримували стренгу. Температури формуючого інструменту та зони – 90, 120, 125 і 110 ºС, відповідно. Швидкість обертання шнеку до 30 об/хв.

Лиття підготовленої полімерної композиції на ливарній машині ТПА ДЕ3330.Ф1.

В роботі було проведено дослідження сорбційних властивостей матеріалів одержаних на основі композицій ПВС/Кр шляхом занурення зразків у дистильовану воду. Розрахунок сорбції (W) здійснювався гравіметричним методом за формулою:

$$W = \frac{(m_i - m_0)}{m_0} \cdot 100\ \%$$

де m_i – маса зразка у момент часу i, m_0 – початкова маса зразка.

В якості пластифікатора використовували гліцерин.

Результати досліджень

Отримали гранулу полімерної композиції ПВС/Кр (рис. 1, *а*), яку переробляли на екструдері (рис. 1 б) та ливарній машині й отримали вироби (рис. 1, *в*, *г*).

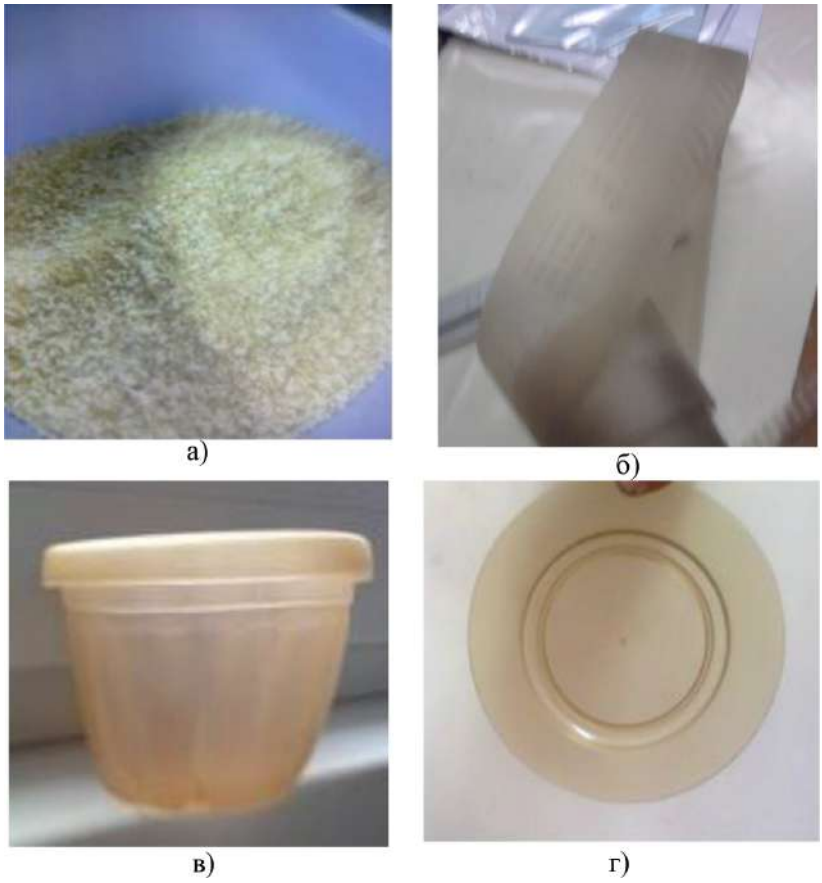

Рис. 1. Отримані вироби з полімерної композиції на основі кукурудзяного крохмалю та полівінілового спирту (*а*) – гранула; *б*) – плівка; *в*) – горщик; *г*) – тарілка)

Були отримані плоскі та об'ємні вироби за якими визначали формостійкість при вологості 60 % і температурі 24 °С протягом 24 годин, за цей час форма не змінилася.

На рис. 2 наведено залежність сорбції води для зразків на основі ПВС/Кр отриманих методом лиття під тиском та екструзії.

Як видно з рисунку, відсоток сорбції для зразків виготовлених методом лиття під тиском протягом перших 2,5 годин становить в межах від 1 до 3,8 % подальше перебування у воді призводить до збільшення сорбції води до 23 % через добу і це значення не змінювалося протягом тижня. Для зразків виготовлених методом екструзії спостерігається значна сорбція води першу годину дослідження. Вона зростає до 120 %, після чого маса зразка починає падати, і через 2,5 години від початку дослідження відсоток сорбції становить 74 %. При цьому зразок втрачає свою міцність і спостерігається відокремлення частинок матеріалу. Протягом доби матеріал суттєво розпадався, що унеможливило подальше спостереження.

Отже зразок отриманий методом лиття під тиском має у 53 рази менший відсоток сорбції ніж для зразків отриманих методом екструзії, а отже вибір методу переробки – методу литтям під тиском дозволяє зберігати при дії води стабільні розміри, що дає можливість виготовляти на основі композицій ПВС/Кр екологічнй посуд.

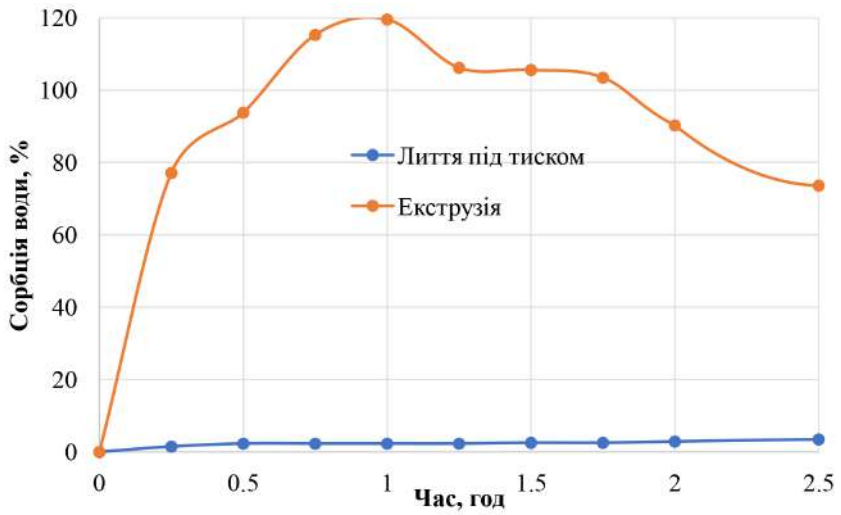

Рис. 2. Залежність сорбції води для зразків на основі ПВС/Кр отриманих методом лиття під тиском та екструзії

Дослідження фізико-механічних властивостей матеріалів на основі ПВС/Кр виготовлених методом лиття під тиском та екструзії.

Для проведення досліджень використовували розривну машину Р5 за ISO 527-1 та ISO 527-2. Кількість випробовуваних зразків з кожної проби повинна бути не менше п'яти.

Зразки отримані методом екструзії та лиття під тиском були закопані на присадибній ділянці на глибину 10 см терміном 5 місяців. Після чого зразки були видалені з ґрунту та витерті сухими серветками. Всі зразки дослідили на фізико-механічні властивості.

На рис. 3 наведено залежність навантаження від деформації зразка з композиції на основі композиції ПВС/Кр виготовленого методом екструзії до та після впливу навколишнього середовища протягом 5 місяців.

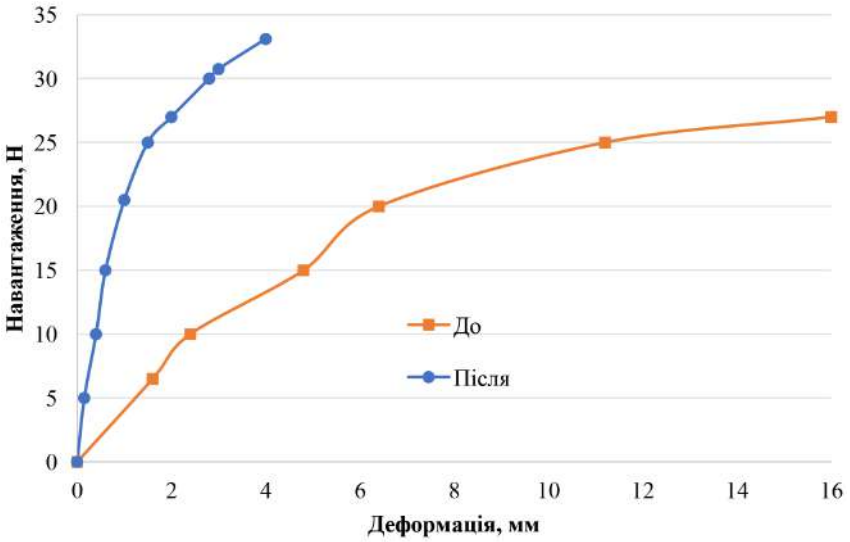

Рис. 3. Залежність навантаження від деформації зразка з композиції на основі ПВС/Кр виготовленого методом екструзії до та після впливу навколишнього середовища протягом 5 місяців

Як видно з рисунка 3 вихідний зразок матеріалу на основі ПВС/Кр виготовлений методом екструзії при навантаженні 33,1 Н та деформації 4 мм розірвався, а після перебування зразка в землі протягом 5 місяців спостерігається пом'якшення зразка, що характеризується зменшенням навантаження при розриві до 27 Н при деформації 16 мм.

На рис. 4. наведено залежність навантаження від деформації зразка з композиції на основі композиції ПВС/ТПК виготовленого методом лиття під тиском до та після впливу навколишнього середовища протягом 5 місяців.

Для вихідних зразків на основі ПВС/Кр виготовлених методом лиття під тиском характерне максимальне навантаження 48 Н після чого відбувається розрив зразка при деформації 48 мм. А для зразків після впливу навколишнього середовища протягом 5 місяців характерне максимальне навантаження 38,8 Н при деформації 84 %.

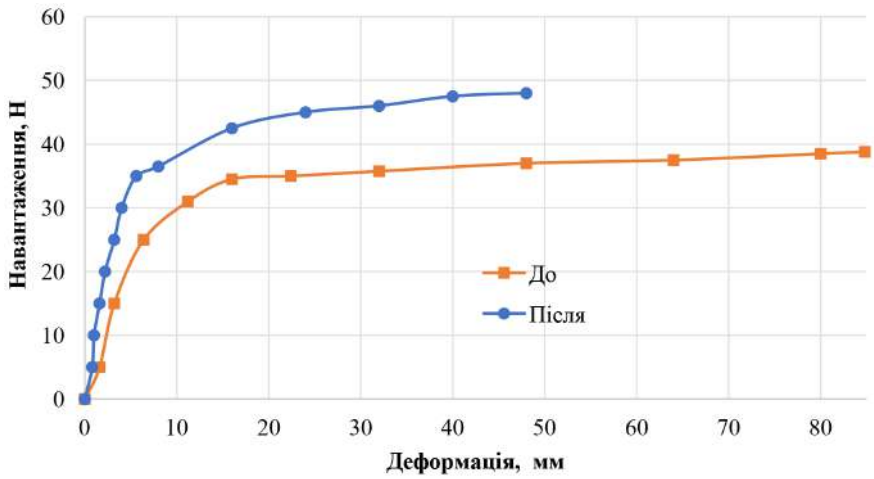

Рис. 4. Залежність навантаження від деформації зразка з композиції на основі ПВС/Кр виготовленого методом лиття під тиском до та після впливу навколишнього середовища протягом 5 місяців

Отже вихідні зразки на основі ПВС/Кр, які виготовлені методом екструзії мають меншу міцність у 1,45 разів та у 12 разів меншу еластичність у порівнянні з зразками, які виготовлені методом лиття під тиском. При дослідженні зразків після впливу навколишнього середовища протягом 5 місяців міцність зразків виготовлених методом екструзії та лиття під тиском зменшилася пропорційно вихідним зразкам і складає 1,44 рази. А деформація збільшилася у 5,3 рази при порівнянні цього показника для зразків виготовлених литтям під тиском і екструзії.

Зразки виготовлені методом лиття під тиском мають більшу межу міцності ніж зразки виготовлені методом екструзії. При чому для обох видів зразків межа міцності зменшується після впливу навколишнього середовища. Для литтєвих зразків межа міцності зменшилася з 2,65 до 2,5 МПа, а для екструдованих зразків – з 1,66 до 1,51 МПа. Отже зразки мають ознаки деструктивних процесів, що характеризує їх як деградабельні матеріали під дією навколишнього середовища.

Розрахунок відносного видовження показав, що зразки виготовлені методом лиття під тиском є більш еластичними, що дозволяє витримувати більші навантаження, а зразки отримані методом екструзії мають невисоку величину відносного видовження від 7,84 % для вихідних матеріалів і до 32,85 % для зразків після 5 місячного перебування у землі.

Отже, всі зразки зазнали зміни фізико-механічних властивостей, що свідчить про руйнування композиціях. Збільшення еластичності, ймовірно, пов'язано з тим, що під дією зовнішніх факторів руйнується крохмальна компонента, а синтетична ПВС складова залишається.

Висновки

В ході виконання досліджень встановлено, що рецептурний склад біорозкладних композицій на основі полівінілового спирту, кукурудзяного крохмалю та гліцерину для виготовлення одноразового посуду методом лиття під тиском.

Дослідження фізико механічних властивостей довели перевагу методу лиття під тиском над методом екструзії. Готові вироби отримані литтям під тиском показали кращу міцність, відносне видовження та стійкість до деформації.

Виготовлення одноразового екологічного посуду на основі ПВС/Кр в Україні можливе на базі вітчизняних підприємств з використанням існуючого обладнання, що є досить перспективним напрямком розвитку виробництва біодеградуючих матеріалів.

Список використаної літератури

1. N. Delangiz, S. Aliyar, N. Pashapoor, K. Nobaharan, B. Asgari Lajayer, S. Rodríguez-Couto. Can polymer-degrading microorganisms solve the bottleneck of plastics' environmental challenges? Chemosphere, 294 (2022), https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.133709

2. Letcher T. M. Plastic Waste and Recycling: Environmental Impact, Societal Issues, Prevention, and Solutions / edited by T. M. Letcher. 1st Edition. Publisher : Academic Press, 2020. 686 p. https://doi.org/10.51202/0323-3243-2021-2-078-2

3. Zabihzadeh Khajavi M. et al. Strategies for controlling release of plastic compounds into foodstuffs based on application of nanoparticles and its potential health issues / M. Zabihzadeh Khajavi, R. Mohammadi, S. Ahmadi, M. Farhoodi, M. Yousefi. Trends in Food Science & Technology. 2019. Vol. 90. P. 1–12. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.05.009

4. Nagarajan K., Balaji A., Thanga Kasi Rajan S., Ramanujam N. Preparation of bio-eco based cellulose nanomaterials from used disposal paper cups through citric acid hydrolysis. Carbohydrate Polymers. 2020. Vol. 235. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.115997

5. Karan H. et al. Green Bioplastics as Part of a Circular Bioeconomy. Trends in Plant Science. 2019. Vol. 24. P. 237–249. https://doi.org/10.1016/j.tplants.2018.11.010

6. Ramesh Kumar S., Shaiju P., O'Connor K.E., Babup R. Bio-based and biodegradable polymers. State-of-the-art, challenges and emerging trends. Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry. 2020. Vol. 21. P. 75–81. https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2019.12.005

7. Jian Zhanga. Mechanical fatigue of biodegradable polymers: A study on polylactic acid (PLA), polybutylene succinate (PBS) and polybutylene adipate terephthalate (PBAT) / Jian Zhanga, Valerian Hirschbergb, Denis Rodriguea // International Journal of Fatigue Volume 159, June 2022, 106798. – 2021. https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2022.106798

8. Hao Cheng. Starch-based biodegradable packaging materials: A review of their preparation, characterization and diverse applications in the food industry / Hao Cheng, David Julian McClements // Trends in Food Science & Technology Volume 114, August 2021, Pages 70-82. – 2021. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.05.017

References

1. Delangiz, N., Aliyar, S., Pashapoor, N., Nobaharan, K., Asgari Lajayer, B., & Rodríguez-Couto, S. (2022). Can polymer-degrading microorganisms solve the bottleneck of plastics' environmental challenges? Chemosphere, 294, 133709. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.133709

2. Plastic Waste and Recycling – Environmental Impact, Societal Issues, Prevention, and Solutions. (2021). *Technische Textilien*, 64(2), 78. https://doi.org/10.51202/0323-3243-2021-2-078-2

3. Zabihzadeh Khajavi, M., Mohammadi, R., Ahmadi, S., Farhoodi, M., & Yousefi, M. (2019). Strategies for controlling release of plastic compounds into foodstuffs based on application of nanoparticles and its potential health issues. *Trends in Food Science & Technology*, 90, 1–12. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.05.009

4. Nagarajan, K. J., Balaji, A. N., Kasi Rajan, S. T., & Ramanujam, N. R. (2020). Preparation of bio-eco based cellulose nanomaterials from used disposal paper cups through citric acid hydrolysis. *Carbohydrate Polymers*, 235, 115997. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.115997

5. Karan, H., Funk, C., Grabert, M., Oey, M., & Hankamer, B. (2019). Green Bioplastics as Part of a Circular Bioeconomy. *Trends in Plant Science*, 24(3), 237–249. https://doi.org/10.1016/j.tplants.2018.11.010

6. RameshKumar, S., Shaiju, P., O'Connor, K. E., & P, R. B. (2020). Bio-based and biodegradable polymers – State-of-the-art, challenges and emerging trends. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, *21*, 75–81. https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2019.12.005

7. Zhang, J., Hirschberg, V., & Rodrigue, D. (2022). Mechanical fatigue of biodegradable polymers: A study on polylactic acid (PLA), polybutylene succinate (PBS) and polybutylene adipate terephthalate (PBAT). *International Journal of Fatigue*, *159*, 106798. https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2022.106798

8. Cheng, H., Chen, L., McClements, D. J., Yang, T., Zhang, Z., Ren, F., Miao, M., Tian, Y., & Jin, Z. (2021). Starch-based biodegradable packaging materials: A review of their preparation, characterization and diverse applications in the food industry. *Trends in Food Science & Technology*, 114, 70–82. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.05.017

Дата першого надходження рукопису до видання: 24.09.2025
Дата прийнятого до друку рукопису після рецензування: 20.10.2025
Дата публікації: 28.11.2025