

ЕКОЛОГІЧНІ РИЗИКИ ЗАХОРОНЕННЯ БІОВІДХОДІВ ТА ЇХ ЗНИЖЕННЯ ЧЕРЕЗ КОМПОСТУВАННЯ

ENVIRONMENTAL RISKS OF BIO-WASTE DISPOSAL AND THEIR REDUCTION THROUGH COMPOSTING

Наталія Гринчишин, к.с.-г.н, доцент, e-mail: nata_gryn123@ukr.net, Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7631-6023>

<https://doi.org/10.32447/bcet.2025.16>

Анотація. У розділі проаналізовано ключові недоліки нормативно-правової бази України у сфері управління відходами, яка діяла до 2022 року і сприяла домінуванню практики захоронення побутових відходів. Здійснено порівняльний аналіз моделей сучасного стану управління побутовими відходами в Україні та країнах ЄС. Встановлено критичний стан системи управління побутовими відходами в Україні та необхідність її реформування. Основну увагу приділено аналізу екологічним ризикам, що виникають при захороненні біовідходів, які мають значну частку в складі побутових відходів та володіють високою біологічною активністю. Показано, що розкладання біовідходів на полігонах і звалищах призводить до утворення шкідливих і парникових газів, зокрема метану, який є надзвичайно небезпечним з точки зору кліматичних змін і пожежної безпеки. Проаналізовано роль біовідходів в утворенні фільтрату, показано як вивезення харчових відходів змінює видове біорізноманіття поблизу полігонів і звалищ. Проведено аналіз опосередкованого впливу захоронення біовідходів на ґрунти та здоров'я людей у зонах поблизу полігонів. Охарактеризовано компостування та анаеробне зброджування як сучасні екологічні технології для управління біовідходами. Особливий акцент приділений компостуванню як пріоритетній технології переробки біовідходів у країнах Європейського Союзу. Відзначено важливість впровадження роздільного збирання органічної фракції побутових відходів як передумови для ефективної переробки біовідходів. У цьому контексті розглянуто приклад міста Львова, де діє сучасна **станція промислового компостування біовідходів**, яка забезпечує вироблення якісного компосту. Досвід Львова вказує на ефективність муніципальної політики в напрямку скорочення обсягів захоронення та необхідність її впровадження в інших містах України для сталого управління біовідходами.

Ключові слова: біовідходи, управління побутовими відходами, захоронення біовідходів, екологічні ризики, компостування.

Abstract. The section analyzes the key shortcomings of the legal and regulatory framework in Ukraine's waste management sector that was in place before 2022, which contributed to the dominance of municipal waste landfilling practices. A comparative analysis of the current state of municipal waste management models in Ukraine and EU countries is provided. The critical condition of Ukraine's municipal waste management system and the urgent need for its reform are identified. Special attention is given to the analysis of environmental risks associated with the landfilling of biowaste, which constitutes a significant portion of municipal waste and exhibits high biological activity. It is shown that the decomposition of biowaste in landfills leads to the generation of harmful and greenhouse gases, particularly methane, which poses serious threats in terms of climate change and fire hazards. The role of biowaste in leachate formation is analyzed, and the impact of food waste disposal on biodiversity near landfills and dumpsites is discussed. The indirect effects of biowaste landfilling on soil and human health in areas near landfills are examined.

An overview of modern environmental technologies for biowaste management is provided, including composting and anaerobic digestion. Particular emphasis is placed on composting as a priority biowaste processing technology in European Union countries. The importance of implementing separate collection of the organic fraction of municipal waste as a prerequisite for efficient biowaste processing is highlighted. In this context, the example of the city of Lviv is considered, where a modern industrial biowaste composting facility operates, producing high-quality compost. Lviv's experience demonstrates the effectiveness of municipal policies aimed at reducing landfilling volumes and underscores the need for similar initiatives in other Ukrainian cities to achieve sustainable biowaste management.

Keywords: biowaste, municipal waste management, biowaste landfilling, environmental risks, composting.

1. ВСТУП

Однією з основних екологічних проблем сучасної України є неефективне управління побутовими відходами, зокрема біовідходами. У загальній масі побутових відходів органічна фракція становить значну частку, яка захоронюється на полігонах і звалищах. Така практика не лише суперечить принципам сталого розвитку, а й призводить до екологічних ризиків для довкілля: утворення парникових газів (передусім метану), формування токсичного фільтрату, деградації ґрунтів, зміни біорізноманіття. Ця ситуація пов'язана зі застарілою нормативно-правовою базою, яка тривалий час не забезпечувала умов для запобігання утворенню, роздільного збирання та екологічно безпечної переробки біовідходів.

У науковій літературі широко розглядаються загальні аспекти управління відходами, проте недостатньо уваги приділяється проблемі біовідходів у контексті екологічних ризиків, що супроводжують їх захоронення. Наявні дослідження лише частково розкривають вплив цих процесів на якість атмосферного повітря, води, ґрунтів та здоров'я населення, що мешкає поблизу полігонів. Це зумовлює актуальність проведення комплексного дослідження, яке включає аналіз сучасного стану управління біовідходами в Україні та екологічні ризики, спричинені полігонним захороненням.

Метою цієї роботи є екологічні ризики, обумовлені захороненням біовідходів в Україні та їх зниження через впровадження технології компостування.

У роботі представлено аналіз нормативно-правової бази України у сфері управління побутовими відходами, проведено порівняння моделей поводження з побутовими відходами в Україні та країнах Європейського Союзу (ЄС), визначено ризики від захоронення біовідходів, узагальнено європейський досвід поводження з біовідходами, охарактеризовано технологію компостування як пріоритетну в країнах ЄС в системі управління біовідходами.

2. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

У дослідженні використано нормативно-правову базу України у сфері управління побутовими відходами, статистичні дані Eurostat щодо муніципальних відходів, офіційні звіти Державної служби статистики України, екологічні звіти, а також наукові публікації, присвячені екологічним ризикам захоронення біовідходів і технологіям їх переробки, зокрема компостуванню.

Для оцінки ефективності правового регулювання у сфері управління побутовими відходами застосовано **методи аналізу, порівняння та узагальнення. Метод системного аналізу** використано для екологічних ризиків, пов'язаних із захороненням біовідходів. **Методи логічного аналізу та порівняльного моделювання** застосовано для дослідження практик управління

побутовими відходами, переробки та утилізації біовідходів у країнах ЄС та в Україні. Для узагальнення інформації про технологію компостування, її етапи та особливості процесу, було застосовано описово-аналітичний метод аналізу наукових джерел. **Кейс-метод** використано для вивчення досвіду впровадження системи роздільного збирання та переробки біовідходів методом компостування у м. Львові.

3. РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ

3.1 Нормативно-правове регулювання сфери управління побутовими відходами в Україні

Ефективне управління побутовими відходами є однією з складових екологічної політики, фундаментом якої є нормативно-правова база.

Попередня нормативно-правова база у сфері управління відходами в Україні була неефективною для побутових відходів. Закон України «Про відходи» 1998 року протягом багатьох років залишався майже незмінним і не відповідав сучасним викликам, засадам сталого розвитку та вимогам європейських стандартів. Законодавство не забезпечувало належного нормативного підґрунтя для запобігання утворенню побутових відходів, сприяння їх повторному використанню, рециклінгу або енергетичній утилізації. Це призводило до домінування найменш пріоритетного способу управління побутовими відходами - захоронення. Окрім цього, була відсутня система планування управління відходами на різних рівнях. Це гальмувало розвиток інфраструктури поводження з побутовими відходами. Неефективною була системи контролю та притягнення до відповідальності. Санкції за порушення у сфері управління побутовими відходами були незначними або не застосовувалися на практиці. Водночас в Україні не було належного екологічного моніторингу місць захоронення побутових відходів. Ще одним чинником, що гальмував реформу управління побутовими відходами, була відсутність дієвих економічних стимулів для зменшення утворення відходів і впровадження альтернативних методів захоронення. Законодавство не забезпечувало належного механізму дієвих інструментів фінансової підтримки сортування чи переробки відходів. Варто зазначити, що до 2022 року в Україні не було здійснено імплементації вимог директив Європейського Союзу щодо управління відходами, передбачених Угодою про асоціацію.

З прийняттям у 2022 році нового Закону України «Про управління відходами»⁵²², (далі - **Закон**), почалась системна реформа галузі у відповідності до європейських стандартів. **Закон** визначає правові, організаційні, економічні засади діяльності щодо запобігання утворенню, зменшення обсягів утворення відходів, зниження негативних наслідків від діяльності з управління відходами, сприяння підготовці відходів до повторного використання, рециклінгу і відновленню з метою запобігання їх негативному впливу на здоров'я людей та навколишнє природне середовище.

Згідно зі статтею 1 Закону, побутові відходи - змішані та/або роздільно зібрані відходи від домогосподарств, включаючи відходи паперу, картону, скла, пластику, деревини, текстилю, металу, упаковки, біовідходи, відходи електричного та електронного обладнання, відходи батарей та акумуляторів, небезпечні відходи у складі побутових, великогабаритні та ремонтні відходи, а також змішані та/або роздільно зібрані відходи з інших джерел, якщо ці відходи подібні за своїм складом до відходів домогосподарств.

Утворювачами побутових відходів є домогосподарства, підприємства, установи та організації всіх форм власності, якщо утворювані ними відходи подібні за своїм складом до відходів домогосподарств.

⁵²² Про управління відходами: Закон України від 20.06.2022 № 2320-IX: станом на 15 листоп. 2024 р., XXXX <<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2320-20#Text>> дата звернення 8 травня 2025.

Закон гармонізує українське законодавство з відповідними директивами Європейського Союзу у сфері управління відходами, що є частиною зобов'язань України в рамках Угоди про асоціацію з ЄС. Законом впроваджується ієрархія управління відходами (у порядку пріоритетності):

- 1) запобігання утворенню відходів;
- 2) підготовки відходів до повторного використання;
- 3) рециклінгу;
- 4) відновлення відходів (у тому числі виробництва енергії);
- 5) видалення відходів.

Закон передбачає обов'язкове роздільне збирання побутових відходів. У населених пунктах мають бути створені умови для роздільного збирання паперу, картону, пластику, скла, металу, а також біовідходів, текстилю та інших видів відходів.

Статтею 37 Закону встановлено цільові показники щодо підготовки до повторного використання та рециклінгу побутових відходів:

- до 2025 року - не менше 10 % їх маси;
- до 2030 року - не менше 20 % їх маси;
- до 2035 року - не менше 25 % їх маси;
- до 2040 року - не менше 35 % їх маси.

З метою створення ефективної системи управління відходами Закон встановлює рівні стратегічного планування (табл. 1).

Таблиця 1

Рівні та нормативно-правові документи стратегічного планування управління відходами в Україні

Рівень	Нормативно-правовий документ
Національний	Національна стратегія управління відходами Національний план управління відходами
Регіональний	Регіональний план управління відходами
Місцевий	План управління відходами територіальної громади
Мікрорівень	План управління відходами підприємства, організації, установи

«Національний план управління відходами до 2033 року»⁵²³, (далі - Національний план), визначає головні напрями реалізації державної політики у сфері управління відходами, натомість, регіональними та місцевими планами управління відходами визначаються конкретні заходи, необхідні об'єкти інфраструктури, технології, які враховують місцеві умови, економічні розрахунки та спроможність реалізації.

Основними завданнями, визначеними Національним планом у сфері побутових відходів є зменшення їх утворення, збільшення частки рециклінгу, впровадження роздільного збирання та поступова відмова від захоронення біовідходів. Національний план передбачає розвиток відповідної інфраструктури, удосконалення системи моніторингу, запровадження розширеної відповідальності

⁵²³ Про затвердження Національного плану управління відходами до 2033 року та визнання такими, що втратили чинність, деяких актів: Розпорядж. Каб. Міністрів України від 27.12.2024 № 1353-р, XXXX <<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1353-2024-p#Text>> дата звернення 8 травня 2025.

виробника, а також підвищення ролі органів місцевого самоврядування у забезпеченні комплексного управління побутовими відходами.

Національний план включає в себе також «Національну програму зменшення захоронення біовідходів» та «Національну програму запобігання утворенню відходів». Він містить аналітику про поточний стан управління відходами в країні, прогностичні показники та стратегічні напрями розвитку сфери на 10 років, інструменти для реалізації поставлених цілей та моніторинг їх виконання.

Регіональний план управління відходами (РПУВ) - це комплекс взаємопов'язаних і узгоджених у часі заходів, спрямованих на вирішення проблем управління відходами в області. Основна мета РПУВ – забезпечення переходу до сучасної системи управління відходами, що передбачає їх ефективне використання як ресурсу та сталий розвиток. Це досягається шляхом запобігання утворенню відходів, їх безпечного поводження без загрози здоров'ю людей та довкіллю.

Кластерний підхід є ключовим елементом регіональної політики. Він передбачає створення кластерів управління відходами з урахуванням:

- рекомендацій щодо визначення територіальних меж;
- можливості створення регіональних об'єктів оброблення побутових відходів;
- перспектив розвитку інфраструктури відновлення відходів, у тому числі для енергетичних потреб;
- мінімізації витрат на транспортування та захоронення відходів.

Основними об'єктами інфраструктури управління відходами в межах кластеру мають бути:

- регіональні полігони побутових відходів;
- сміттєперевантажувальні станції;
- сміттєсортувальні лінії;
- сортувально-переробні комплекси, на основі технологій механіко-біологічного перероблення або термічного знешкодження;
- компостувальні станції.

Основою РПУВ є конкретні заходи, які формуються із врахуванням заходів, передбачених Національним планом управління відходами та спрямовані на реалізацію державної та місцевої політики у сфері управління відходами. Для кожного заходу визначаються відповідальні виконавці, строки реалізації, засоби контролю та проведення моніторингу результатів їх впровадження.

Основними проблемами системи управління побутовими відходами та її функціонування є⁵²⁴:

- неповні та неякісні дані щодо утворення, відновлення та захоронення відходів;
- відсутність планування та систематизації в управлінні потоками відходів;
- застаріла матеріально-технічна база та недосконала інфраструктура;
- відсутність сучасних полігонів для відходів, які відповідають вимогам державних та європейських норм і стандартів;
- низький рівень оброблення всіх видів відходів;
- недосконала система управління небезпечними відходами;
- відсутність інституційної структури управління медичними відходами на регіональному рівні;
- відсутність системи управління знятими з експлуатації транспортними засобами;
- низький рівень повторного використання та оброблення промислових відходів;

⁵²⁴ Олександр Ігнатенко, "Кластерні підходи управління побутовими відходами при розробленні регіональних планів" (*Офіс сталих рішень*, 1) <<https://ukraine-oss.com/klasterni-pidhody-upravlinnya-pobutovymy-vidhodamy-pry-rozrobleni-regionalnyh-planiv-rozbyrayemo-na-prykladah/>> дата звернення 26 травня 2025.

- низький рівень переробки пластикових і гумових відходів;
- низький рівень збору і переробки біовідходів;
- наявність небезпечних відходів на великих територіях;
- неналагоджена співпраця між інституціями на рівні області, громади;
- недостатня обізнаність громадян щодо важливості сортування та оброблення відходів.

Ці проблеми вимагають комплексного підходу до реформування системи управління відходами включаючи підготовку підзаконних актів, розвиток інфраструктури, освітні програми та стимулювання інвестицій у цю сферу.

Отже, законодавство у сфері управління побутовими відходами в Україні поступово трансформується в напрямі відповідності стандартам ЄС. Закон «Про управління відходами» є важливим кроком до створення ефективної системи управління відходами. Однак, його успішна реалізація залежить від узгодженої роботи органів влади, наявності інфраструктури та залучення громадськості.

3.2 Стан сфери управління побутовими відходами в Україні та країнах Європейського Союзу

Незважаючи на те, що протягом останніх 20 років чисельність населення України постійно скорочується, обсяги утворення побутових відходів щорічно збільшуються. Середній показник утворення ТПВ в Україні за різними методиками розрахунку від 230 до 330 кг на одну людину в рік⁵²⁵.

Утворення побутових відходів у країнах Європейського Союзу становить близько 505 кг на одну особу на рік (рис.1). Водночас цей показник суттєво варіюється залежно від країни: найменший обсяг фіксується в Румунії - приблизно 287 кг на людину, тоді як найбільший у Данії - 845 кг на людину. Різні обсяги утворення відходів в ЄС пов'язані з різними моделями споживання, економічним розвитком окремих країн, так і з особливостями способу життя, клімату тощо.

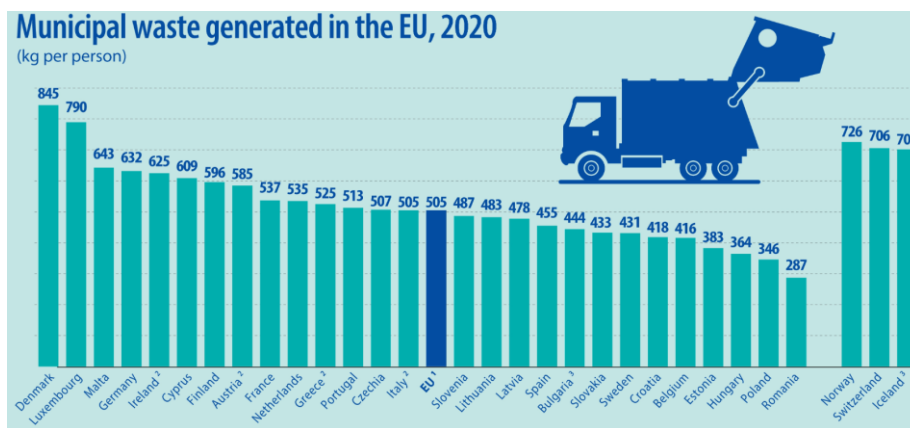


Рисунок 1. Утворення відходів на людину в країнах ЄС в 2020 році, кг/людину⁵²⁶

Способи управління побутовими відходами в країнах ЄС та Україні суттєво різняться (рис.2). У країнах ЄС в 2021 році обсяги відходів, захоронених на полігонах, становили лише 27%, тоді як в Україні цей показник був значно вищим - понад 90%

⁵²⁵ Про затвердження Національного плану управління відходами до 2033 року та визнання такими, що втратили чинність, деяких актів: Розпорядж. Каб. Міністрів України від 27.12.2024 № 1353-р, XXXX <<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1353-2024-p#Text>> дата звернення 18 травня 2025.

⁵²⁶ "Municipal waste generation up to 505 kg per person" (Language selection | European Commission) <<https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/-/DDN-20220214-1>> дата звернення 9 червня 2025.



Рисунок 2. Управління побутовими відходами в країнах ЄС і в Україні, 2021р, %

Стан управління побутовими відходами в Україні є критичним і не відповідає європейським тенденціям у цій сфері. На відміну від ЄС, в Україні низький рівень переробки і спалювання побутових відходів, відсутнє компостування та високий показник захоронення на полігонах (понад 90%).

Динаміка поводження з муніципальними відходами в країнах ЄС у період з 1995 по 2020 рік демонструє тенденцію до скорочення обсягів захоронення відходів на полігонах та поступове збільшення інших способів їх обробки. Якщо на початку аналізованого періоду захоронення було основним методом утилізації побутових відходів, то з часом цей показник на душу населення послідовно зменшувався (рис. 3).

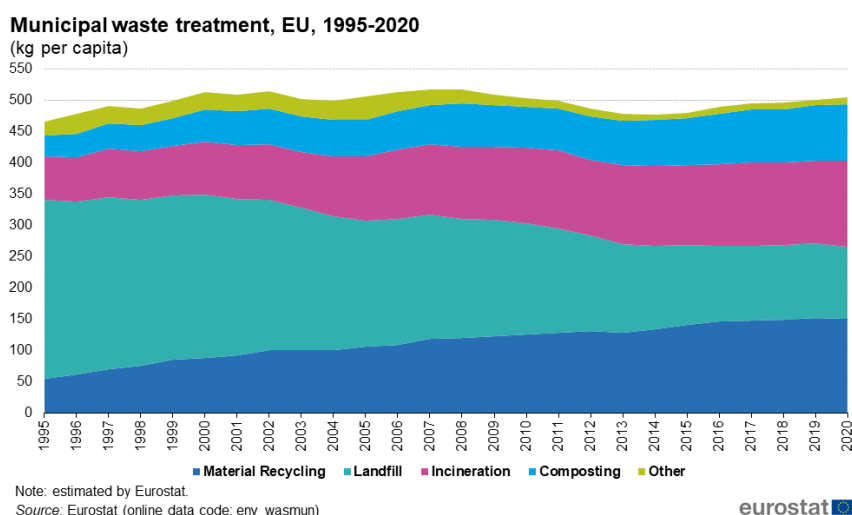


Рисунок 3. Поводження з комунальними відходів в ЄС, 1995-2020 р.⁵²⁷

У 2021 році в Україні утворилось понад 51 млн. куб. метрів побутових відходів (понад 10 млн. тонн), перероблено та утилізовано близько 7,64 відсотка побутових відходів, з них 1,14 відсотка спалено, а 6,5 відсотка побутових відходів потрапило на заготівельні пункти вторинної сировини та сміттєпереробні лінії. Згідно з даними, наданими обласними військовими адміністраціями (без урахування відомостей щодо тимчасово окупованих територій), у населених пунктах України за 2022 рік було утворено більше 7 млн тонн побутових відходів. За результатами 2022 року побутові відходи розміщені на 5,7 тис. сміттєзвалищах та полігонах (у 2021 році таких об'єктів було близько 6 тисяч), площа яких складає більше 8 тис. га (у 2021 році їх площа складала близько 6 тис. га). При

⁵²⁷ (Language selection | European Commission) <https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/env_wasmun/default/table?lang=en> дата звернення 9 травня 2025.

цьому перевантаженими є 163 одиниці (у 2021 році перезавантаженими було 230 сміттєзвалища), 693 сміттєзвалища не відповідають нормам екологічної безпеки (у 2021 році таких було 824). На жаль, неналежним чином у 2022 році проводилась робота з рекультивації сміттєзвалищ. Так з 2 197 сміттєзвалища, які потребують рекультивації, фактично рекультивовано 258 (у 2021 році було рекультивовано 29 одиниць). За інформацією Мінінфраструктури, потреба у будівництві нових полігонів складає 290 одиниць⁵²⁸

Отже, стан сфери управління побутовими відходами в Україні значно відрізняється від країн ЄС. Якщо для ЄС характерною є тенденція до скорочення обсягів захоронення, то в Україні, попри зменшення населення, обсяги відходів зростають, а понад 90% їх все ще захоронюється на перевантажених та екологічно небезпечних полігонах і звалищах. Це вказує на нагальну потребу в прискоренні реформи управління побутовими відходами в Україні.

3. Екологічна ризики захоронення біовідходів

В загальній структурі побутових відходів особливе місце займають біовідходи, фракція яких є значною і становить до 46 % на глобальному рівні та до 64 % у країнах з низьким рівнем доходу⁵²⁹.

Біовідходи - відходи, що мають властивість піддаватися анаеробному або аеробному розкладу, такі як відходи харчових продуктів або відходи харчової промисловості на всіх етапах виробництва та споживання, відходи від зелених насаджень.

В Україні відсутні системні дослідження та офіційні дані щодо морфологічного складу побутових відходів. Ця прогалина є значною перешкодою для ефективного управління ними.

Результати експериментального дослідження морфологічного складу побутових відходів у населених пунктах України⁵³⁰ (табл. 2) свідчать, що органічні відходи становлять понад 40% загального обсягу. Коливання цієї частки можуть пояснюватися сезонними особливостями або іншими впливовими чинниками.

Таблиця 2

Узагальнені дані щодо морфологічного складу побутових відходів, % мас

Компонент відходів	Обласні центри, %			Міста 75–100 тис. осіб		
	середнє	мін	макс	середнє	мін	макс
Папір, картон	7,0	3,3	11,8	6,6	5,6	8,5
Композити — упаковка для рідких харчових продуктів (тетрапак)	3,2	1,5	6,2	2,7	1,1	4,0
Метал	1,2	0,6	2,1	1,1	0,5	1,4
Полімери, у т. ч. ПЕТ	8,9	3,4	15,6	7,6	3,4	12,3
Скло	3,4	1,6	6,4	3,5	1,2	5,6
Органічні відходи (харчові, рослинні)	39,9	22,6	59,0	43,1	33,5	50,1
Небезпечні відходи	1,4	0,7	2,4	1,7	0,2	3,1
Несортований залишок неорганічний мінеральний (відсів, каміння)	7,1	1,5	14,7	7,2	7,0	11,4
Інші	14,0			13,2		
Усього	100,0			100,0		

⁵²⁸ Про затвердження Національного плану управління відходами до 2033 року та визнання такими, що втратили чинність, деяких актів: Розпорядж. Каб. Міністрів України від 27.12.2024 № 1353-р, XXXX <<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1353-2024-p#Text>> дата звернення 18 травня 2025.

⁵²⁹ Hangyong Ray Lu, Xin Qu та Ali El Hanandeh, "Towards a better environment - the municipal organic waste management in Brisbane: Environmental life cycle and cost perspective" (2020) 258 Journal of Cleaner Production 120756, XXXX <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120756>>.

⁵³⁰ Морфологічний склад побутових відходів узагальнені дані населених пунктів України (2024) <https://u-lead.org.ua/storage/admin/files/6c39ec127cdea84a3bd81453656d3ae.pdf>.

Через відсутність в Україні дієвої та законодавчо закріпленої системи управління біовідходами, що охоплювала б їхнє окреме збирання, транспортування, переробку та утилізацію, ці відходи потрапляють на полігони та звалища. Захоронення біовідходів на полігонах і звалищах, значна частина яких функціонує з порушеннями вимог екологічної безпеки, створює значні ризики для довкілля.

Забруднення атмосферного повітря. Біовідходи перетворюють звалища і полігони побутових відходів на **неконтрольовані біореактори**, де постійно відбувається процеси деструкції органічних речовин та утворення проміжних і кінцевих продуктів, які мігрують у навколишнє середовище й підвищують екологічну небезпеку. На першому етапі, який є короткотривалим, у верхніх шарах полігонів і звалищ, де є доступ кисню, відбуваються аеробні процеси розкладання органічних речовин. У таких умовах утворюються та викидаються в атмосферне повітря діоксид вуглецю (CO_2), сірководень (H_2S), аміак (NH_3) й леткі органічні сполуки, які можуть мати різкий і неприємний запах та бути токсичними. На другому етапі, у результаті подальшого захоронення та ущільнення побутових відходів на полігонах і сміттєзвалищах, органічні відходи потрапляють в анаеробні умови, в яких деструкція органічної речовини відбувається значно повільніше, у порівнянні з аеробними процесами, і може тривати десятки років. Кінцевим продуктом анаеробної деструкції органічних відходів є звалищний біогаз, який містить 50-60 % метану⁵³¹.

Найбільше забруднення повітря спостерігається в безпосередній близькості до звалища, особливо в літній період, коли підвищується температура й інтенсивність біологічних процесів. Проведені натурні дослідження Інституту громадського здоров'я ім. О.М.Марзєєва НАМНУ показали, що зона впливу на атмосферне повітря на сміттєзвалищах досягає межі санітарно-захисної зони (500м) - 1,1-1,2 ГДК по сірководню й аміаку. Наднормативний вплив на атмосферне повітря за межами санітарно-захисної зони не реєструється⁵³².

Кліматичні зміни. Полігони та звалища побутових відходів, що функціонують без систем дегазації, є **неорганізованими джерелами емісії парникових газів**. Ці викиди посилюють **глобальне потепління та зміни клімату**. Серед газів, що викидаються сміттєзвалищами є **метан (CH_4)** - основний компонент біогазу, який утворюється в процесі **анаеробного розкладу органічних речовин** мікроорганізмами за відсутності кисню. Цей газ є потужним парниковим газом, що характеризується значно вищим потенціалом глобального потепління порівняно з діоксидом вуглецю (CO_2). Зокрема, **здатність метану утримувати тепло в атмосфері є приблизно в 25 разів вищою, ніж у вуглекислого газу, протягом 100-річного періоду**⁵³³.

Пожежонебезпечність. Особливою проблемою, що має значні екологічні ризики для навколишнього середовища є пожежі на звалищах і полігонах. Вони виникають у результаті неналежного ущільнення і покриття побутових відходів шарами ґрунту та за відсутності систем дегазації біогазу. В таких умовах біогаз накопичується у великих обсягах у «повітряних кишнях» або проникає в масив побутових відходів. Метан, як основний компонент біогазу є надзвичайно легкозаймистим та вибухонебезпечним. При контакті з джерелом займання (наприклад, іскра, відкритий вогонь, висока температура, самозаймання через біотермічні процеси) метан може спричинити поверхневі пожежі, що швидко поширюються по легкозаймистих матеріалах чи

⁵³¹ A Haarstrick та інші, "Modelling of the biodegradation of organic matter in municipal landfills" (2001) 19(4) Waste Management & Research 320, <<http://dx.doi.org/10.1177/0734242x0101900409>>.

⁵³² Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2021 році (2022) <https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2023/01/Natsdopovid-2021-n.pdf>.

⁵³³ KR Shivanna, "Climate change and its impact on biodiversity and human welfare" [2022] Proceedings of the Indian National Science Academy XXXX <<http://dx.doi.org/10.1007/s43538-022-00073-6>>.

глибинні (гліючі) пожежі, набагато небезпечніші, оскільки біогаз може горіти всередині сміттевого масиву, де доступ кисню обмежений, але достатній для тління. Значна частка легкозаймистих матеріалів, таких як папір, пластик, текстиль, що потрапляє на звалища без попереднього сортування створює сприятливі умови для поширення вогню.

Пожежі на полігонах і звалищах побутових відходів є найбільш складними, неконтрольованими і тривалими, та вимагають залучення значних ресурсів, сил і засобів. Прогнозування та попередження пожеж на полігонах і звалищах є складним завданням. У результаті відкритого горіння побутових відходів в атмосферне повітря викидається оксид та діоксид вуглецю (CO та CO_2), оксиди азоту (NO_x), соляна кислота (HCl), ціанистий водень (HCN), леткі органічні сполуки, стійкі органічні забруднювачі, кетони, альдегіди та метали, такі як свинець (Pb), кадмій (Cd), ртуть (Hg), миш'як (As), хром (Cr), мідь (Cu), нікель (Ni), селен (Se) і цинк (Zn)⁵³⁴.

За даними Державної служби України з надзвичайних ситуацій, **пожежі на полігонах і звалищах побутових відходів є досить поширеним явищем в Україні (рис.4).**

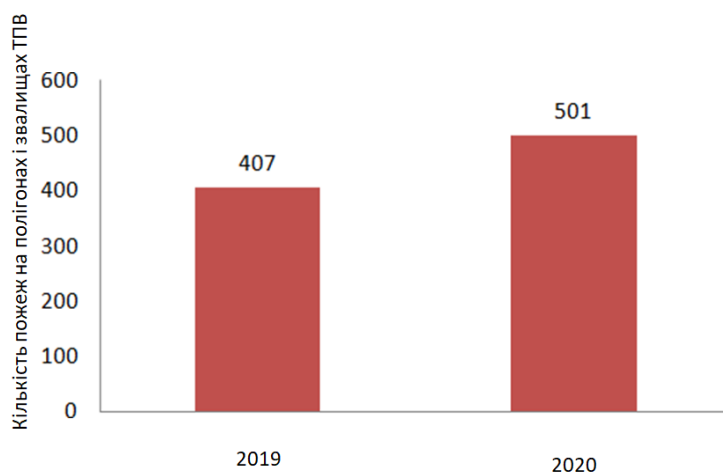


Рисунок 4. Кількість пожеж на полігонах і звалищах в Україні, 2019-2020 рр.⁵³⁵

Така кількість пожеж (рис. 4) свідчить про значні недоліки у системі управління відходами, які призводять до частих загорянь та створюють екологічні ризики.

Найбільша пожежа сталася у 2016 році на Грибовицькому полігоні твердих побутових відходів (Львівська область), яка призвела до обвалу сміття та загибелі людей. Ця подія не лише привернула увагу до критичного стану системи управління відходами, а й мала значні екологічні наслідки.

Ефективне впровадження норм будівництва полігонів та сучасної інфраструктури для переробки побутових відходів потребує значного ресурсу часу та інвестицій, а тому, проблема пожеж на полігонах і звалищах побутових відходів залишається вкрай актуальною для України.

Утворення фільтрату. Значний вміст води у біовідходах є основною причиною утворення фільтрату в тілі полігонів і звалищ.

Фільтрат звалищ і полігонів побутових відходів - це висококонцентрований розчин різноманітних токсичних органічних і неорганічних речовин. Склад фільтрату є надзвичайно складним і змінним у часі. Він включає **органічні речовини** (БСК_5 , ХСК); **аміак, нітрати, нітроти, фосфати; важкі метали** (ртуть, свинець, кадмій, мідь, цинк); **феноли, нафтопродукти,**

⁵³⁴ Jan Stefan Białowicz, Wioletta Rogula-Kozłowska та Adam Krasuski, "Contribution of landfill fires to air pollution – An assessment methodology" (2021) 125 Waste Management 182, XXXX <<http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2021.02.046>>

⁵³⁵ Статистичні довідки а 2020 рік (Державна служба України з надзвичайних ситуацій) <https://dsns.gov.ua/statisticni-dovidki>.

поверхнево-активні речовини; **мікроорганізми**. Фільтрат має темне забарвлення, високий рівень токсичності та дуже неприємний запах⁵³⁶.

Враховуючи те, що значна частина звалищ і полігонів в Україні проектувалася без облаштування протифільтраційних екранів, системи збирання та видалення фільтрату, функціонування таких об'єктів становить екологічні ризики для гідросфери через забрудненням підземних і поверхневих вод.

Досліджено, що забруднення фільтратом підземних та поверхневих вод поширюється на 2-3 км (аміак, важкі метали). Варто зазначити, що ці забруднення поширюються і на джерела питного водопостачання. На полігонах контроль впливу фільтрату на підземні води обмежується територією полігону, в першу чергу через контроль ситуації та прийняття своєчасних заходів⁵³⁷.

Забруднення ґрунтів. Ґрунти, розташовані в безпосередній близькості до полігонів накопичують різноманітні полутанти. Відкрите горіння побутових відходів на звалищах і полігонах призводить до забруднення ґрунтів прилеглих територій важкими металами та впливає на їх екологічний стан. Найбільш уразливими є верхні горизонти ґрунту, в яких відмічена максимальна концентрація токсичних речовин. Проблема ускладнюється тим, що важкі метали мають здатність до біоаккумуляції, що створює довготривалі ризики для навколишнього середовища і здоров'я людини. Через рослини вони можуть потрапляти у харчові ланцюги, а згодом - і в організм людини, викликаючи різноманітні токсичні ефекти, включно з порушенням функцій нервової, серцево-судинної та імунної систем⁵³⁸.

Збільшення кількості та концентрації важких металів у ґрунті викликає суттєві зміни у складі його мікробіоценозу: зменшується загальна кількість мікроорганізмів ґрунту, збільшується частка мікроскопічних грибів у мікробних угрупованнях. На територіях, прилеглих до полігонів і звалищ побутових відходів, фіксується зменшення активності ґрунтової мікрофлори, погіршується структура ґрунту та знижується його родючість⁵³⁹.

Зміна видового біорізноманіття. Захоронення біовідходів на полігонах і звалищах створює ризики на видове біорізноманіття. Одним із найбільш уразливих компонентів екосистеми поблизу сміттєзвалищ є рослинність. Вплив на рослини має як прямі, так і опосередковані прояви - через зміну складу ґрунтів, води, повітря та мікроклімату. Біомоніторингові дослідження часто фіксують у рослин, що ростуть поблизу звалищ, підвищений вміст важких металів, які пригнічують розвиток кореневої системи. Деякі важкі метали накопичуються в тканинах рослин і можуть потрапляти до харчового ланцюга. Підвищена температура поблизу звалищ і полігонів побутових відходів (через екзотермічні процеси розкладання біовідходів) впливає на флору. У таких умовах пригнічується ріст більшості типових видів рослин. На звалищах формуються нові (переважно деградовані) типи рослинності⁵⁴⁰.

Вивезення харчових відходів на звалища і полігони створює кормову базу для сапрофагів, сприяє розвитку окремих видів синантропної ентомофауни та орнітофауни⁵⁴¹.

⁵³⁶ Гринчишин Н.М. Властивості фільтрату, утвореного після припинення експлуатації полігона твердих побутових відходів. Вісник ЛДУВБД. 2019. С. 122–127. <https://doi.org/10.32447/20784643.19.2019.14>

⁵³⁷ Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2021 році (2022) <https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2023/01/Natsdopovid-2021-n.pdf>.

⁵³⁸ Гринчишин Н. М. Вплив процесів горіння твердих побутових відходів на екологічний стан ґрунту. Пожежна безпека. 2012. № 20. С. 131-136. <https://ldubgd.edu.ua/sites/default/files/files/20.pdf>

⁵³⁹ Гринчишин Н. М., Лозовицька Т. М. Вплив важких металів на мікробіоценоз дерново-слабопідзолистого ґрунту. Науковий вісник ЛНУВМБТ імені С.З. Гжицького, 2009. Т. 11, № 2(41), Ч.4. С. 54–57. <file:///C:/Users/Home/Downloads/1Hrynchyshyn.pdf>

⁵⁴⁰ Білик Г. С. Еколого-ценотичні особливості рослинного покриву звалищ твердих побутових відходів. Наукові основи збереження біотичної різноманітності, 2011. Том 2(9), № 1. С. 33-50. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/nozbr_2011_2%289%29_1_5

⁵⁴¹ Dementieva Y., Chaplygina A., Kratenko R. Species composition of bird assemblages on waste landfills in Kharkov Region. Ornis Hungarica, Volume 31 (2023): Issue 1 (June 2023), p. 48-61. <https://doi.org/10.2478/orhu-2023-0003>

Сміттєзвалища приваблюють птахів завдяки наявності легкодоступної їжі. Водночас, такі території є місцем екологічних ризиків для орнітофауни, які можуть мати згубні наслідки для птахів. Постійне харчування залишками призводить до зміни харчової поведінки, залежності від антропогенних ресурсів, зменшення інстинкту природного добування їжі. У відходах часто містяться токсичні речовини, мікропластик, пестициди, ліки, зіпсовані продукти. Потрапляння таких речовин до організму птаха спричиняє отруєння, порушення травлення, накопичення шкідливих сполук у тканинах, зниження виживання пташенят. Пластик та пакувальні матеріали можуть спричиняти закупорку шлунково-кишкового тракту або механічні травми. Надмірне зростання чисельності деяких видів (наприклад, сріблястої чайки, ворон) на сміттєзвалищах призводить до витіснення рідкісних або менш агресивних видів у навколишніх біотопах. У районах великих полігонів птахи можуть залишатися на зиму, змінюючи міграційну поведінку через наявність харчової бази. Це порушує сезонну динаміку популяцій і може робити їх уразливішими до кліматичних змін або епідемій⁵⁴².

Захворюваність населення. За даними Національної академії медичних наук України аналіз захворюваності людей населених пунктів, прилеглих до сміттєзвалищ, показав, що негативний вплив на довкілля суттєво впливає на умови проживання населення, включаючи показники здоров'я. При зменшенні відстані від сміттєзвалища з 900 до 500 м спостерігалось зростання у 1,4 раз частоти патології серцево-судинної системи; у 1,7 рази - патології нервової системи; майже у 2 рази - інфекційної патології. Рівень захворюваності за серцевосудинними та хворобами органів дихання в найближчому населеному пункті перевищує в 1,5-2 рази середні обласні показники⁵⁴³.

Таким чином, захоронення біовідходів на звалищах і полігонах, які не відповідають вимогам екологічної безпеки, створює значні екологічні ризики, пов'язані з утворенням токсичних газів, фільтрату, забрудненням прилеглих територій, зміною видового біорізноманіття та зниження якості життя в районах, наближених до полігонів і звалищ. **Метан**, що утворюється в процесі анаеробного розкладання органіки, впливає на зміну клімату і є ризиком виникнення одних із найнебезпечніших типів пожеж.

3.4 Компостування як екотехнологія. Управління біовідходами належить до основних напрямів політики Європейського Союзу в сфері сталого розвитку та циркулярної економіки. В контексті екологічної політики важливу роль відіграє Рамкова директива ЄС про відходи (2008/98/ЄС), яка зобов'язує держави-члени забезпечити окремий збір біовідходів або їх перероблення у спосіб, який відповідає принципам захисту довкілля.

За оцінками Європейської Комісії, біовідходи складають до 40% усіх муніципальних відходів у ЄС. Упродовж останніх двох десятиліть у країнах ЄС спостерігається чітка тенденція до зменшення полігонного захоронення біовідходів та розвитку альтернативних методів їхнього оброблення, зокрема компостування та анаеробного зброджування. В 2021 році середня кількість біовідходів, що підлягали цим методам обробки, становила понад 100 кг на душу населення в ЄС (рис. 5).

⁵⁴² Дементєєва Я. Ю. Орнітофауна полігонів твердих побутових відходів міста Харкова. *Вісник Черкаського університету*. 2021. №1 С.26-36. URL: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.5-44.40>

⁵⁴³ Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2021 році (2022) <https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2023/01/Natsdopovid-2021-n.pdf>.

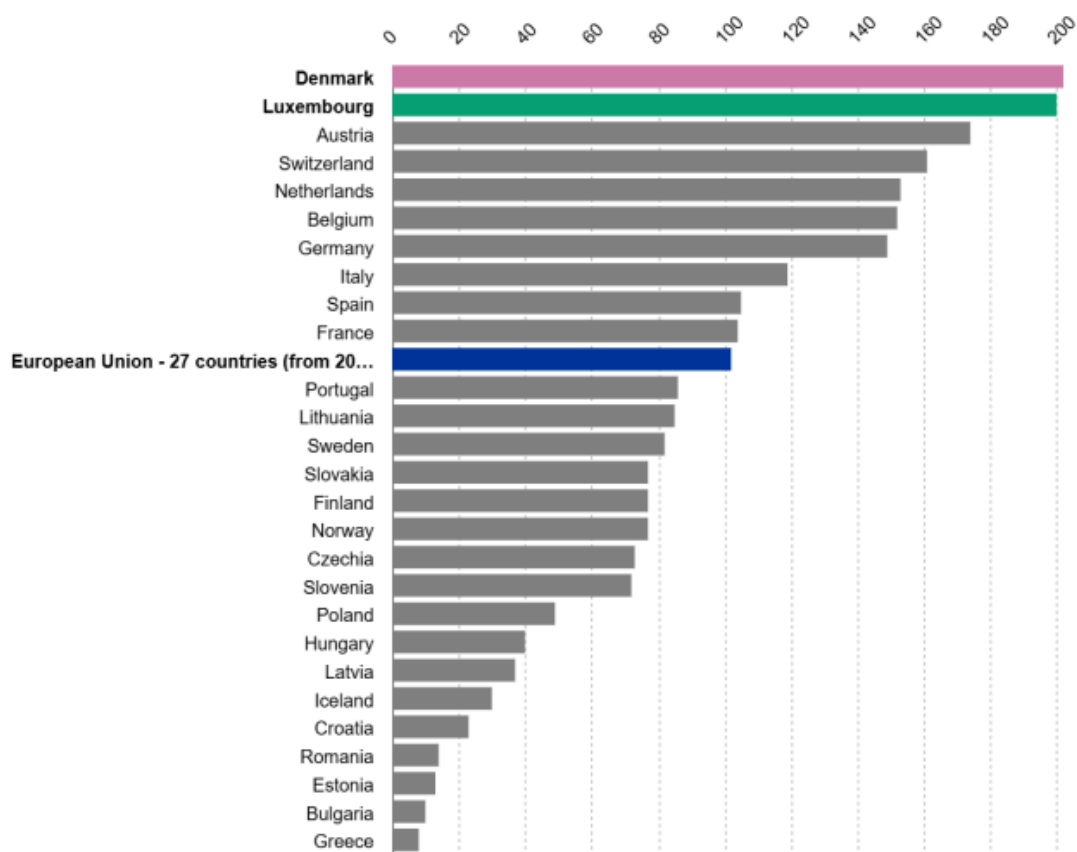


Рисунок 5. Компостування та аеробне зброджування муніципальних біовідходів в країнах ЄС за 2021 р., кг на одну особу в рік⁵⁴⁴

У країнах ЄС обсяги переробки біовідходів суттєво варіюються. Лідерами з переробки біовідходів на душу населення є Данія та Люксембург, де цей показник перевищує 190 кг/особу на рік. До групи країн із високим рівнем переробки також належать Австрія, Швейцарія, Нідерланди, Бельгія та Німеччина, де на душу населення щорічно припадає від 120 до 160 кг/особу перероблених біовідходів. Натомість найнижчі обсяги переробки біовідходів фіксуються в Греції, Болгарії, Естонії, Румунії та Хорватії, де цей показник становить менше 30 кг/особу.

Для управління муніципальними біовідходами в країнах ЄС практикують як технологію компостування, так і анаеробного зброджування. Вибір між цими методами або їх поєднання у межах гібридних технологічних схем (наприклад, попереднє анаеробне зброджування з подальшим компостуванням) кожна країна ЄС адаптує під власні стратегічні цілі, які залежать від умов місцевості, потреб у добривах або енергії, наявної інфраструктури.

У 2021 р. в ЄС функціонувала розгалужена мережа об'єктів біологічної обробки біовідходів, що охоплювала 4274 спеціалізовані установки. Більшість із них - 3403 об'єкти (близько 80%) реалізували технологію аеробного зброджування (компостування), що свідчить про її простоту, економічну доцільність та доведену ефективність у переробці біовідходів. Значно меншу частку становлять установки анаеробного зброджування (AD) – 738 одиниць, які переважно експлуатуються в країнах із розвинутою інфраструктурою відновлюваної енергетики. Комбіновані комплекси, що поєднують анаеробне та аеробне зброджування, представлені лише 133 установками (рис. 6).

⁵⁴⁴ (Language selection | European Commission) <https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/env_wasmun/default/table?lang=en> дата звернення 9 травня 2025.

Щорічно в ЄС продукується від 118 до 138 мільйонів тонн біовідходів, з яких наразі лише близько 40% (що еквівалентно 47,5 мільйонам тонн на рік) ефективно переробляється (рис.6). Найбільша частка цієї маси - 30,5 млн тонн (понад 64%) компостується, анаеробним зброджуванням переробляється 12,4 млн тонн (26,1%) від загальної маси біовідходів. Комбіновані технології застосовуються менше та обробляють 4,6 млн тонн (9,7%) біовідходів.

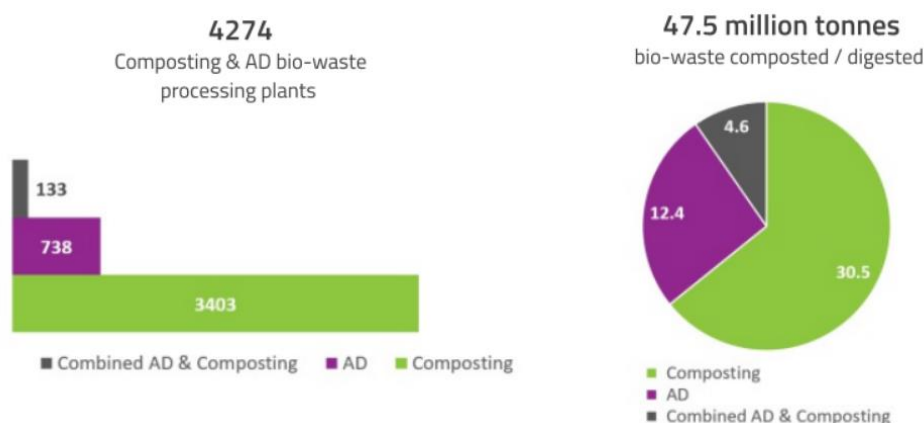


Рисунок 6. Компостування та аеробне зброджування муніципальних біовідходів у ЄС, 2021 р.⁵⁴⁵

Анаеробне зброджування є складним мікробіологічним процесом, що відбувається за відсутності вільного кисню в спеціально побудованих установках і передбачає послідовну дію симбіотичних мікробних спільнот. Ця технологія, переважно, практикується в країнах, які виділяють значні фінансові інвестиції для побудови установок для анаеробного зброджування й впроваджують відновлювану енергетику⁵⁴⁶. В Німеччині, Швеції, Данії та Люксембургу анаеробні установки використовують для переробки біовідходів у біогаз, який в подальшому використовується для виробництва електроенергії та тепла або очищується до якості біометану. Цей підхід дозволяє одночасно вирішувати енергетичні, екологічні та ресурсні проблеми. Окрім того, залишки після зброджування (дигестат) можуть бути використані як добриво після відповідної стабілізації⁵⁴⁷. Однак, оператори анаеробного зброджування стикаються з низкою проблем, однією з яких є доступ до регулярного, постійного та відповідного сировинного забезпечення протягом терміну експлуатації установок, які будуються на періоди, що перевищують 25 років⁵⁴⁸.

Компостування – це процес аеробного біологічного розкладу органічних матеріалів із утворенням стабільного, збагаченого поживними речовинами продукту. Кінцевим продуктом цього процесу є **компост** - стабілізований, багатий на поживні речовини матеріал, що є цінним органічним добривом для ґрунтів. Застосування компосту сприяє підвищенню родючості ґрунту, покращенню його структури та водоутримуючої здатності, а також зменшує потребу у синтетичних добривах. Завдяки цьому, компостування не тільки усуває екологічні проблеми, пов'язані із захороненням, а й сприяє розвитку **циркулярної економіки**, оскільки повертає поживний ресурс у природний обіг.

⁵⁴⁵ (Language selection | European Commission) <https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/env_wasmun/default/table?lang=en> дата звернення 9 травня 2025.

⁵⁴⁶ Angouria-Tsorochidou E., Teigiserova D. A., Thomsen M. Limits to circular bioeconomy in the transition towards decentralized biowaste management systems, *Resources, Conservation and Recycling*, 2021. V. 164, 105207. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105207>

⁵⁴⁷ European Environment Agency (EEA), 2020. *Bio-waste in Europe — turning challenges into opportunities*. <https://www.eea.europa.eu/publications/bio-waste-in-europe>

⁵⁴⁸ Araya M. A Review of Effective Waste Management from an EU, National, and Local Perspective and Its Influence: The Management of Biowaste and Anaerobic Digestion of Municipal Solid Waste. *Journal of Environmental Protection*, 2018 (9). 652-670. doi: 10.4236/jep.2018.96041

Компостування є більш поширеною практикою обробки біовідходів у ЄС. Воно широко застосовується в країнах із розвиненим сільським господарством, де продукт компостування має стабільний попит. Наприклад, Австрія, Нідерланди, Бельгія та частково Німеччина активно впроваджують централізовані та децентралізовані системи компостування. Перевагами аеробного процесу є відносна технологічна простота, низький рівень капіталовкладень, а також екологічна безпечність.

Впровадження сортування з виокремленням біовідходів є важливим для ефективного компостування⁵⁴⁹.

Промислове компостування проводиться в контрольованих умовах, що дозволяє регулювати процес і забезпечити його ефективність. У цьому процесі задіяні дві основні групи аеробних мікроорганізмів: мезофільні та термофільні. До цих груп належать бактерії, актиноміцети, плісняві гриби та дріжджі, які переважають на різних етапах компостування. Весь процес включає кілька послідовних фаз: початкову мезофільну, термофільну та другу мезофільну, яка також відома як стадія охолодження або дозрівання.

Компостування починається з мезофільної фази, коли температура підвищується до 20–40 °C. За нею настає термофільна фаза, під час якої температура досягає 40–70 °C, і саме в цей період інтенсивність розкладання органічної речовини значно зростає порівняно з початковим етапом. У результаті підвищення температури мезофільні мікроорганізми гинуть або втрачають активність, тоді як кількість термофільних і термотолерантних бактерій, актиноміцетів і грибів значно зростає. Завершується процес другою мезофільною фазою - стадією стабілізації або дозрівання, під час якої компост поступово переходить у готову до використання форму.

Фактори, що впливають на компостування, включають вміст вологи, розмір частинок, температуру компостування, рН, кисень та співвідношення C/N⁵⁵⁰.

Вологість є ключовим фактором, що підтримує метаболічну активність мікробів. Вміст вологи в компостуючих сумішах слід підтримувати в межах від 40% до 60%. Надлишок вологи призводить до зниження дифузії кисню, а це, у свою чергу, знижує метаболічну активність організмів. Мікробні клітини повністю залежать від води для своєї метаболічної активності.

Найкращі умови компостування зазвичай досягаються, коли розмір частинок матеріалу є невеликими, що призводить до більшої площі поверхні взаємодії з мікроорганізмами. Швидкість аеробного розкладання збільшується зі зменшенням розміру частинок: малі частинки можуть зменшити рух кисню в купі, тим самим знижуючи швидкість компостування. Крім того, дуже малий розмір частинок сприяє утриманню вологи та зменшує повітряний простір, що призводить до зниження процесу компостування.

Температура є важливим фактором компостування, оскільки вона допомагає пришвидшити процес компостування та знищити патогенні організми, шкідливі для ґрунтових організмів, рослин, тварин та людини.

Ідеальне співвідношення C:N 30 є оптимальним для процесу компостування. Коли компостувальні матеріали мають низький вміст C:N, повітря не проникне в купу, що призводить до анаеробних умов та спричиняє утворення запаху, а також втрату азоту у вигляді газоподібного аміаку. Крім того, якщо співвідношення C/N занадто високе, активність мікроорганізмів знижується.

⁵⁴⁹ Grynychshyn N., Datsko T., Mazurak O., Kachmar N. Municipal solid waste composting as a factor of sustainable development of the modern city. *AIP Conference Proceedings*, 2023, 2490(1), 060018 <https://doi.org/10.1063/5.0122780>

⁵⁵⁰ Ayilara, M.S.; Olanrewaju, O.S.; Babalola, O.O.; Odeyemi, O. Waste Management through Composting: *Challenges and Potentials. Sustainability* **2020**, *12*, 4456. <https://doi.org/10.3390/su12114456>

Присутність кисню є важливою умовою під час процесу компостування. Коли організми окислюють вуглець для утворення енергії, наявний кисень витрачається, і утворюються гази. Без достатньої кількості кисню процес компостування стане анаеробним, і утворюватимуться гази (метан, вуглекислий газ та аміак), що призведе до утворення небажаних запахів.

Рівень рН біовідходів, що компостуються, впливає на швидкість компостування. Лужне середовище є найкращим для компостування. При кислому рН компостування відбувається дуже повільно, оскільки гинуть мікроорганізми.

Використання компосту в сільськогосподарському виробництві покращує родючість ґрунту та врожайність рослин. Внесення компосту збагачує ґрунт органічними речовинами, що пов'язано з високим вмістом поживних елементів у компостованих матеріалах і наявністю мікроорганізмів, які стимулюють ріст рослин.

Компост повинен містити основні елементи для живлення рослин (азот, фосфор і калій)⁵⁵¹.

Азот необхідний для повноцінного росту та розвитку рослин. Його нестача негативно впливає на фізіологічні процеси, проявляється пожовтінням листків, уповільненням росту, зниженням вмісту білка та загальним ослабленням рослин. Азот входить до складу хлорофілу, тому відповідає за інтенсивне зелене забарвлення рослин. Компост зазвичай містить достатню кількість азоту, необхідну для забезпечення потреб рослин у цьому елементі. Високий вміст азоту в компості трапляється рідко, оскільки деякі сполуки з азотом вивільняються у вигляді газів.

Фосфор є важливою складовою частиною нуклеїнових кислот рослин, які беруть участь у регуляції білкового синтезу. Він відіграє важливу роль у процесах клітинного поділу, формуванні нових тканин і забезпеченні енергетичного обміну. Внесення фосфору в ґрунти з його низьким вмістом сприяє активному росту кореневої системи, підвищує стійкість рослин до низьких температур, стимулює розвиток надземної частини та пришвидшує дозрівання врожаю. Недостатнє фосфорне живлення гальмує ріст, погіршує формування насіння й плодів, затримує досягання та призводить до зміни кольору листя - воно набуває характерного темно-синього або синьо-зеленого відтінку. Компост містить фосфор у кількостях, що забезпечують оптимальні умови для росту та розвитку рослин.

Калій сприяє інтенсивному росту, підвищує вміст хлорофілу та каротину, покращує забарвлення рослин і зміцнює їхню структуру. Калій бере участь у синтезі цукрів та відіграє важливу роль у підвищенні стійкості рослин до захворювань і несприятливих умов середовища, таких як посуха чи низькі температури. При нестачі калію спостерігаються характерні ознаки: з'являються опіки та бурі плями на кінчиках старого листя, які з часом поширюються на всю поверхню, а також слабкість і ламкість стебел. Компости є джерелом значної кількості калію, який необхідний для повноцінного росту і розвитку рослин.

Застосування компосту ефективно зменшує інтенсивність ерозії. Внаслідок ерозійних процесів відбувається істотна втрата таких важливих елементів, як азот, фосфор і калій. Компост сприяє покращенню структури ґрунту, підвищує його водоутримувальну здатність і стабільність ґрунтових агрегатів.

Компост служить біологічним захистом від хвороб рослин. Мікроорганізми, присутні в компості, використовують різні механізми боротьби зі своїми патогенними аналогами. До них належать конкуренція за поживні речовини, паразитизм, хижацтво, виробництво антибіотиків, виробництво літичних та інших позаклітинних ферментів або сполук.

⁵⁵¹ Khater E. Some physical and chemical properties of compost. *Int. J. Waste Resour.* 2015, 5, 1–5. DOI: 10.4172/2252-5211.1000172

За допомогою компосту можна відновити ґрунт, забруднений важкими металами. Компост сприяє розкладанню хлорованих та нехлорованих вуглеводнів, хімікатів, пестицидів, нафтопродуктів у ґрунті.

Вперше в Україні практика промислового аеробного компостування біовідходів як пілотний проєкт впроваджена у 2020 році в місті Львові. Львів доєднався до проєкту «Перехід до «нуль відходів» у рамках програми «Zero Waste Cities», підписавши Меморандум між Львівською міською радою та «Zero waste Europe». Місто офіційно стало першим містом, що не належить до Європейського Союзу, учасником проєкту. Пілотний проєкт компостування органічних відходів у місті Львові здійснюється на спеціально облаштованій станції.

Для відокремлення біовідходів у межах міста встановлено спеціальні контейнери для збору органічних відходів від населення (рис. 7). Станом на кінець 2024 року контейнери для збору органічних відходів встановлені на 1468 майданчиках для збору побутових відходів.

На станції компостування харчові відходи завантажують у контейнер для знезараження. Стерилізація відходів здійснюється протягом 48 годин при температурі 72-80°C і забезпечує знищення бактерій та нейтралізацію різних запахів. Садово-паркові відходи (гілки, стовбури дерев), які потрапляють на станцію компостування, подрібнюють на щепу на дробарці для деревини.

Харчові відходи вологістю 70-80 % змішують з подрібненою до розмірів 5-40 мм деревиною, листям та травою в співвідношенні 3:1. До цієї суміші для ефективності процесу компостування додають біопрепарати. Суміш укладають в бурти для дозрівання. Для запобігання загниванню органічних відходів в буртах їх перемішують кожні 3-5 днів та аерують. Процес компостування триває від 3 до 5 місяців і відбувається з виділенням тепла. Температура в буртах може сягати 70 °C. Через 3-5 місяці дозрілий готовий стабілізований продукт компостування пересіюють на комплексі обладнання для відокремлення великої фракції, яку використовують як природний бактеріальний препарат для збагачення органічної речовини в буртах.



Рисунок 7. Контейнери для збору органічних відходів у місті Львові

Вміст забруднюючих речовин (CO , NO_2 , SO_2 , O_3 , NO , H_2S , NH_3) в повітрі на межі санітарно-захисної зони станції компостування не перевищує гранично допустимі концентрації. Наявність

асфальтованого майданчика та системи збору фільтрату на станції аеробного компостування запобігає забрудненню ґрунтових вод⁵⁵².

Фізико-хімічні та мікробіологічні показники компосту відповідають стандартам для органічних добрив, що дозволяє його використовувати в сільському господарстві. Вміст важких металів у компості не перевищує нормативні значення, що знижує екологічні ризики при його застосуванні. Відсутність у компості *Salmonella*, *Clostridium perfringens*, яєць і личинок гельмінтів, цист кишкових найпростіших забезпечує його санітарно-біологічну безпеку.

Технологія промислового аеробного компостування органічної фракції побутових відходів у Львові демонструє екологічність та можливість створення якісного кінцевого продукту - органічного добрива. Проект аеробного компостування органічної речовини є успішним прикладом локальної ініціативи у сфері сталого управління органічними відходами й може бути масштабований в інших українських містах.

4. ВИСНОВКИ

До 2022 року нормативно-правове регулювання у сфері управління відходами в Україні сприяло переважному захороненню побутових відходів. Прийнятий у 2022 році Закон України «Про управління відходами» започаткував реформу системи поводження з відходами. Документ впроваджує ієрархію управління відходами та передбачає обов'язкове роздільне збирання біовідходів, розвиток інфраструктури для їхньої переробки та зменшення їх захоронення.

Сучасний стан управління побутовими відходами демонструє суттєві відмінності між Україною та країнами Європейського Союзу. В ЄС, попри вищі показники утворення відходів на душу населення спостерігається тенденція до скорочення обсягів захоронення. Натомість, в Україні ситуація залишається критичною. Обсяги утворення побутових відходів щорічно збільшуються, а понад 90% цих відходів потрапляють на полігони і звалища для захоронення. Значна кількість полігонів і звалищ в Україні знаходяться у перевантаженому стані та не відповідають нормам екологічної безпеки.

Захоронення біовідходів, частка яких у складі побутових відходів є значною, створює значні екологічні ризики. У процесі розкладу біовідходів утворюються й викидаються токсичні речовини, зокрема метан, сірководень, аміак, а також інші леткі органічні сполуки, які забруднюють атмосферне повітря та є шкідливими для здоров'я населення. Фільтрат із полігонів містить важкі метали, нітрати, хлориди, органічні забруднювачі, які можуть потрапляти у ґрунтові й поверхневі води, спричиняючи забруднення водних екосистем і деградацію ґрунтів. **Метан**, що утворюється в процесі анаеробного розкладання біовідходів впливає на зміну клімату і є вагомим фактором виникнення найнебезпечніших типів пожеж на полігонах і звалищах. Умови поблизу полігонів і звалищ побутових відходів знижують видове різноманіття.

Компостування є ефективною, екологічно безпечною та економічно доцільною технологією управління біовідходами, яка сприяє зменшенню навантаження на полігони, покращенню якості ґрунтів та розвитку циркулярної економіки. Впровадження промислового компостування, зокрема за умов попереднього сортування органічної фракції, дозволяє зменшити екологічні ризики, пов'язані з захороненням біовідходів. Утворений в контрольованих умовах продукт компостування є цінним органічним добривом. Модель промислового компостування, впроваджена у м. Львові, є прикладом ефективного управління біовідходами, що може бути масштабована на інші міста України.

⁵⁵² Grynchyshyn N, Kuzyk A, Shkumbatiuk O, et al. Composting technology and product analysis based on the results of a pilot project in Lviv (Ukraine). *Ecological Engineering & Environmental Technology*. 2025;26(7). <https://www.ecoet.com/Composting-technology-and-product-analysis-based-on-the-results-of-a-pilot-project,205209,0,2.html#ungrouped>