



Розробка стратегії “з’єднувального містка” для залишкових відходів

Відновлення і біологічне оброблення матеріалів (MRBT) для управління залишковими відходами в межах кругової економіки

Аналітична довідка

Зміст

Резюме	2
Управління відходами в епоху кругової економіки	3
Регуляторний контекст: оцінка вимог Директиви про захоронення відходів	4
- Хибні вимоги у національних процесах: теплотворна здатність і пов'язані з цим питання	5
- Як належним чином визначити "попереднє оброблення"	6
Залишкові відходи: просто купа непотрібного сміття?	8
Концепція відновлення і біологічного оброблення матеріалів (MRBT)	11
Можлива структура і операційні цілі MRBT	13
Навіщо потрібна стратегія "з'єднувального містка" для залишкових відходів: переваги MRBT	18
Стратегічні рекомендації	20
ДОДАТОК: Вплив на зміну клімату та переваги MRBT	22
Висновки	29

Резюме

*“Вирішуємо цілі та зобов’язання сьогодення,
не наносячи шкоду амбіціям майбутнього”*

Європейська Директива про захоронення відходів¹ вимагає попереднього оброблення відходів до їхнього відправлення на полігон. Мета полягає у зменшенні впливу полігонів, але одночасно це призводить і до негативних наслідків, а саме – збільшується ціна остаточної утилізації відходів.

Саме спалювання відходів можна вважати попереднім обробленням (цей метод також згадується серед можливих варіантів оброблення у *Європейській Директиві про захоронення відходів*), враховуючи, що після спалювання відходів залишається зола і шлаки (принаймні частково), які потребують захоронення. Однак спалювання відходів створює ефект замкненого кола, внаслідок чого немає можливості здійснити належне перероблення у зв’язку з необхідністю постійно забезпечувати певний тоннаж для сміттєспалювальних заводів з метою повернення інвестицій і отримання прибутку.

Необхідно визначити попереднє оброблення таким чином, щоб одночасно зменшити негативний вплив полігонів і забезпечити гнучкість, яка потрібна для постійного вдосконалення роботи систем управління відходами, адаптації обладнання і операцій для збільшення обсягу чистих матеріалів (сухі матеріали, придатні для перероблення та біовідходи), які отримуються внаслідок роздільного збору відходів. Щодо цього, система “Відновлення матеріалів і біологічне оброблення (MRBT)”, яка поєднує біологічне оброблення і обладнання для сортування відходів, дозволяє нам “стабілізувати” органіку, яка є частиною залишкових відходів, для зменшення їхнього впливу у випадку захоронення таких відходів на полігоні, а також допомагає вилучити матеріали, зокрема, метали, пластик, папір, які все ще присутні у залишкових відходах після роздільного збору. Враховуючи цілі *Європейської Директиви про захоронення відходів*, цей варіант також передбачає наявність необхідного обладнання і системи оброблення, які можуть підтримувати обсяг роздільно зібраних матеріалів для перероблення, що постійно зростає, у відповідності до амбітних і довгострокових цілей *Рамкової директиви ЄС про відходи*².

¹ https://environment.ec.europa.eu/waste/landfill_index.htm

² https://environment.ec.europa.eu/topics/waste-and-recycling/waste-framework-directive_en

Управління відходами в епоху кругової економіки

Запровадивши *Пакет з кругової економіки*³, Європейський Союз (ЄС) прийняв масштабну дорожню карту з питань управління відходами. У ЄС створено рамковий механізм для держав-членів, в межах якого управління відходами стає інструментом максимально ефективного управління ресурсами, враховуючи забезпечення сталого економічного розвитку шляхом мінімізації відходів і збільшення обсягів повторного використання і перероблення.

У *Пакеті кругової економіки* ЄС передбачено низку позитивних кроків у наступних сферах:

- Зменшення видобутку та імпорту первинної сировини з інших регіонів світу, в той час коли світ все більше стикається з нестачею ресурсів і потребою враховувати кордони планети;
- Збільшення ефективності моделі виробництва і споживання;
- Створення нових робочих місць, наприклад, у сфері роздільного збору, перероблення і повторного використання, а також внаслідок прийняття нових бізнес-моделей, в основі яких, наприклад, лежать поняття *“продукт як послуга”*, зміни в системі виробництва і товари для вдосконалення можливостей повторного використання і перероблення та ін.;
- Зміна категорії витрат в управлінні відходами з капітальних витрат на виплати працівникам.

Враховуючи вищезазначене, кругова економіка передбачає збереження матеріалів і ресурсів в системі, мінімізуючи так звані *“витоки”*, наприклад, захоронення на полігонах і *“Відходи в енергію”* (Waste-to-Energy – WtE). Дійсно, отримання енергії з відходів (шляхом спалювання або сумісного спалювання відходів) знищує великі обсяги ресурсів, потребує видобутку нової первинної сировини, підтримує лінійну модель економіки і призводить до викиду парникових газів (ПГ) від викопних матеріалів (наприклад, в основному від пластику і штучного текстилю). Ця практика значним чином підживляє зусилля Європейського Союзу, який прагне декарбонізувати економіку держав-членів ЄС. Більше того, це неефективний спосіб виробництва енергії, з більшою кількістю одиниць викидів викопного CO₂ на кВт-год, ніж від традиційних електростанцій, що працюють на традиційному паливі⁴.

Зазначаючи необхідність зменшення відходів і збільшення обсягів повторного використання і перероблення, *Дорожня карта кругової економіки* також передбачає належне управління залишковими відходами. Фактично, є два основні способи як варіанти управління залишковими відходами можуть вплинути на роботу систем управління відходами:

1. Вони можуть мати безпосередній негативний вплив, обтяжуючи систему в екологічному, кліматичному, економічному та операційному контекстах. Наприклад, як зазначено вище, спалювання викопних матеріалів може спричиняти загальні викиди парникових газів від систем управління відходами⁵;
2. Але також, і це навіть важливіше, така ситуація може вплинути на еволюцію системи, коли будь-яка пов'язана з відходами інфраструктура призводить до створення ситуації *замкненого кола*⁶ і перешкоджає або сповільнює зусилля, спрямовані на зменшення відходів, і збільшує утилізацію відходів поза межами мінімальних цілей перероблення (65% підготовки для повторного використання і перероблення до 2035 року).

³ https://environment.ec.europa.eu/strategy/circular-economy-action-plan_en

⁴ В Агенції із захисту довкілля Італії (ISPRA) вирахували, що у 2018 році викиди від сміттєспалювальних заводів Італії становили 554,2 г еквіваленту CO₂ на кВт-год (відносно валової генерації енергії, включно з електроенергією і виробництвом тепла), натомість в національній структурі енергогенерації показник викидів CO₂ на кВт-год від викопного палива вже був низький і становив 281,4 г еквіваленту CO₂ на кВт-год.

За повідомленнями Європейської екологічної агенції (EEA), спостерігається тенденція до подальшого зменшення певних викидів від структури енергогенерації у зв'язку із збільшенням використання відновлюваних джерел енергії у майбутньому, внаслідок чого використання спалювання відходів зменшиться. Див. також звіт Zero Waste Europe: <https://zerowasteurope.eu/library/klaipeda/>

⁵ У документі EU Plastic Strategy спалювання відходів згадується у негативному світлі через великі обсяги викидів CO₂ від викопного палива внаслідок спалювання пластику: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT

⁶ *“Замкнене коло”* визначає проблеми у зміні цього сценарію внаслідок попередніх практик і інвестицій: щодо управління відходами – йдеться про необхідність забезпечення сталого тоннажу відходів для забезпечення окупності інвестицій у технології управління відходами. Це особливо важливо у випадку спалювання відходів: У багатьох сферах, де були здійснені інвестиції у масштабні потужності спалювання відходів, на даний час спостерігається сповільнення темпів перероблення або їх дуже повільне зростання, що в кінцевому результаті ставить під загрозу Дорожню карту кругової економіки.

Див., наприклад, <https://zerowasteurope.eu/2019/08/nordic-countries-have-to-steer-away-from-incineration/>

Отже, надзвичайно важливо визначити ґрунтовну “перехідну стратегію” управління залишковими відходами. Стратегія має поєднувати перехід від поточної ситуації до повного потенціалу кругової економіки з метою забезпечення дотримання регуляторних зобов’язань щодо утилізації і, одночасно, уникнення блокування системи завдяки забезпеченню гнучкості. Така “стратегія моста” також повинна підтримувати національні стратегії, місцеві схеми і системи управління відходами ЄС в цілому, а також працювати на зменшення обсягів відходів, збільшення повторного використання, перероблення і зменшення утилізації до мінімуму.

Регуляторний контекст: оцінка вимог Директиви про захоронення відходів

Нещодавно оновлена через прийняття Директиви (ЄС) 2018/850 Європейського парламенту та Ради⁷, Директива про захоронення відходів (Council Directive 1999/31/EC), передбачає дві основні вимоги:

- Мінімізація захоронення відходів, що біорозкладаються, на полігонах із урахуванням певних цілей, які розбиті на етапи, і
- Зобов’язання попереднього оброблення твердих побутових відходів (ТПВ) до їх захоронення на полігонах⁸.

Передбачаючи попереднє оброблення відходів до відправлення на полігони, Директива спрямована на досягнення наступних стратегічних цілей:

- Мінімізація впливу полігонів на довкілля,
- Збільшення вартості захоронення відходів на полігонах⁹.

І хоча процедури щодо порушення законів¹⁰ чітко визначають, що відходи, захоронені без попереднього оброблення, не відповідають зобов’язанням згідно з Директивою ЄС про захоронення відходів, представники певних індустрій вже помилково зазначили, що “це означає потребу будувати сміттєспалювальні заводи”.

Що вважається “обробленням” відповідно до Статті 2 Директиви ЄС про захоронення відходів:

h) “Оброблення” означає фізичні, термальні, хімічні і біологічні процеси, включно із сортуванням, які змінюють характеристики відходів, з метою зменшення обсягів відходів і характеру небезпеки, полегшення поводження з відходами або посилення відновлення.

Однак, хоча термін “термальне оброблення” (тобто, спалювання або сумісне спалювання відходів) включено до групи прийнятних видів обробки, він не є єдиним або обов’язковим до врахування. Підходять також й інші види оброблення, за умови, що вони забезпечують мету “зменшення обсягу відходів і характеру небезпеки, полегшення поводження з відходами або посилення відновлення”.

⁷ Нова Директива ЄС про захоронення відходів також передбачає досягнення мети, починаючи від 2035 року і надалі, у 10% ТПВ на полігонах “протягом будь-якого року”. Для критичної оцінки мети і відповідних наслідків, див. спеціальний аналітичний документ [Zero Waste Europe](#).

⁸ Тим не менш, у Директиві передбачено можливі послаблення, які окремо зазначені для особливих випадків, наприклад, щодо відходів, для яких “оброблення не допомагає досягнення цілей цієї Директиви (...) шляхом зменшення кількості відходів або небезпеки для здоров’я людини або довкілля”. Зокрема, це може стосуватися територій з високим рівнем збору біовідходів і незначним відсотком біовідходів в залишкових відходах, внаслідок чого ферментація не обов’язкова.

⁹ Через вимоги попереднього оброблення, вартість попереднього оброблення додається до вартості захоронення на полігонах.

¹⁰ Див., наприклад, “рішення Малагротта” (“Malagrotta judgement”) <https://curia.europa.eu/juris/liste.jsf?language=en&num=C-323/13> і EU-PILOT 2018/9328 проти Іспанії

Хибні вимоги у національній системі: теплотворна здатність і пов'язані з нею питання

Деякі держави-члени ЄС прийняли додаткові вимоги до визначення відходів, які приймаються на полігонах. Зокрема, багато країн визначили максимальну теплотворну здатність для відходів, що підлягають захороненню. Вперше це зробила Німеччина у "Постанові про остаточну утилізацію" (*Ablagerungsverordnung*, 2001¹¹), де зазначається, що на полігонах підлягають захороненню лише відходи з теплотворною здатністю нижче 6000 кДж/кг. Такі регуляторні вимоги було прийнято вперше ще до того, як остаточно сформувалася політика з питань зміни клімату. В основі їх лежить припущення, що краще спалювати відходи, ніж здійснювати утилізацію на полігоні, навіть якщо вуглецевий слід (з усіма викидами) генерування енергії з такою вихідною сировиною є значно гіршим, ніж газ, і, очевидно, призводить до сильного забруднення за сучасного стану речей, при якому домінує застосування відновлювальних джерел енергії.

Пізніше подібні положення прийняли, хоча і з іншими пороговими значеннями, інші держави-члени ЄС (наприклад, Австрія, Італія, Словенія). Однак необхідно зазначити, що багато високопосадовців помилково вважають, що порогове значення теплотворної здатності наведено у *Європейській директиві про захоронення відходів*. Насправді, це не відповідає дійсності: підхід, який застосовується в Німеччині до прийняття *Пакета кругової економіки*, може призвести до спотворених наслідків, які не відповідають порядку денному кругової економіки – зокрема, у тих державах-членах, де все ще відбувається процес підготовки інфраструктурних планів для ефективного управління залишковими відходами і необхідних для цього інвестицій. І дійсно, ми бачимо, що такі вимоги:

- Призводять до того, що перші інвестиції спрямовуються на спалювання відходів, оскільки "необхідно дотримуватись вимог". Розбудова інфраструктури для спалювання відходів займає час, отже плани дотримуватись регуляторних положень зазвичай розробляють задовго до визначеного часового терміну;
- Передбачають планування і фінансування інфраструктури для спалювання пластику та інших матеріалів з високою теплотворною здатністю, які все ще належать до категорії залишкових відходів (наприклад, види пластику, що не використовуються для упаковки, які не охоплюються стратегією Розширеної відповідальності виробника – РВВ – і відповідні схеми окремого збору відходів). Однак, це суперечить принципам щодо зменшення викидів CO₂ від викопного палива. Натомість, довгострокова кліматична стратегія і стратегія кругової економіки урядів багатьох країн передбачає зменшення обсягу і зміну підходів до виробництва таких матеріалів, і збільшення перероблення (це принципи Європейської стратегії щодо перероблення пластику¹²).

У короткостроковій перспективі прийняття максимального значення теплотворної здатності залишкових відходів, які підлягають захороненню, може також мати негативний вплив на зусилля з роздільного збору органіки і, зокрема, харчових відходів. Одним з найпомітніших наслідків роздільного збору біовідходів є значне збільшення теплотворної здатності залишкових відходів (у багатьох районах, де здійснюють максимально можливий роздільний збір харчових відходів, часто перевищено значення 15.000 кДж/кг). Отже, деякі регіони і муніципалітети в Європі можуть відкладати окремий збір біовідходів з метою уникнення збільшення теплотворної здатності, доки не буде створено інфраструктуру для спалювання залишкових відходів.

Такі розбіжності, а також їх поєднання, спричинили той факт, що уряди країн неодноразово приймали тимчасові обмеження, відкладаючи введення в дію цих регуляторних положень (наприклад, Республіка Чехія), або врешті-решт, скасовували порогове значення (наприклад, Італія). Однак, обмеження і відтермінування не забезпечують чітку і зрозумілу ситуацію для осіб, що відповідальні за прийняття рішень, і зацікавлених сторін.

Окрім цього, враховуючи таку вимогу щодо теплотворної здатності, місцеві плани необхідно розробляти таким чином, щоб вони відповідали чітким вимогам *Директиви ЄС про захоронення відходів* (попереднє оброблення), а також національним вимогам (максимальна теплотворна здатність).

¹¹ Постанова з питань екологічно чистого зберігання твердих побутових відходів і установок перероблення біологічних відходів ("Abfallablagungsverordnung").

¹² <https://ec.europa.eu/environment/circular-economy/pdf/plastics-strategy-brochure.pdf>

Відповідно, коли обмеження або відтермінування стосується національного положення, яке не згадується в Директиві, і відповідні варіанти відтермінуються, це також означає, що відкладається дотримання вимог Директиви ЄС.

Таким чином можна пояснити досі відсутню інфраструктуру для ефективного попереднього оброблення твердих побутових відходів (ТПВ) у багатьох європейських регіонах¹³.

Найкращий підхід – уникнути цих проблем з самого початку, утримавшись від врахування додаткових вимог, які не включено до *Директиви ЄС про захоронення відходів*, і які можуть суперечити іншим цілям і завданням порядку денного кругової економіки.

Як належним чином визначити термін “попереднє оброблення”

Цілі *Директиви ЄС про захоронення відходів* можна підсумувати як мінімізація захоронення на полігонах (кількість і потенціал полігонів) і відповідного впливу на довкілля. Зменшення кількості і потенціалу полігонів в Європі можна забезпечити в першу чергу шляхом зменшення відходів і збільшення обсягу інших підходів, зокрема повторного використання, перероблення і компостування¹⁴, у той час як зменшення негативного впливу у першу чергу можна досягнути, забезпечивши зменшення біорозкладності.

Фактично саме біорозкладність ТПВ спричиняє:

- Ферментацію відходів,
- Викиди метану (який лише частково вловлюється через газові свердловини і факельні системи¹⁵),
- Викиди полігонних фільтратів органічних кислот і інших сполук, які підвищують потенціал полігонних фільтратів витягати інші шкідливі сполуки з маси відходів,
- Запахи,
- Інтерес з боку птахів, комах, шкідників.

Враховуючи вищезазначене, визначення “прийнятне попереднє оброблення” в першу чергу повинно передбачати значне зменшення здатності до ферментації.

Німеччина стала першою державою-членом ЄС, де було прийнято визначення “прийнятність” у документі *Technisches Anleitung Siedlungsabfällen* (TASi, Технічне керівництво з питань побутових відходів, 1993¹⁶). У німецькому керівництві, яке було прийнято ще до Європейської Директиви із захоронення відходів, порогові значення було визначено у формі летючих твердих речовин, що фактично означає вміст органіки у залишкових відходах. Втім, низького показника порогового значення, котрий зафіксований на рівні 3% від ваги, можна досягти – щоправда, за рахунок золи, що виникає в процесі смітеспалювання. Подальша потреба у інвестиціях в спалювання відходів і розбіжність з іншими цілями стратегій управління відходами призвели до перегляду цієї вимоги і запровадження вищезгаданого *Ablagerungsverordnung* (Постанова про остаточну утилізацію, 2001). У постанові вводилося поняття “еквівалентності” оброблення (*Gleichwertigkeit*), що робить біологічну стабілізацію “еквівалентною” за умови, що вона відповідає “респірометричному тесту”. Тест має продемонструвати, що біорозкладна частина відходів пройшла ретельну мінералізацію, і, відповідно, здатність до ферментації було зменшено.

¹³ В Італії поріг теплотворної здатності для відходів на полігонах, вперше сформульований у 2003 році, було скасовано у 2015 році після неодноразового відтермінування введення в дію через суперечливі наслідки для збільшення обсягу перероблення, переадресації біовідходів на роздільний збір і потребу пріоритизувати інвестиції для перероблення і компостування. Нещодавно виконавчі органи влади Шотландії відтермінували застосування подібного регуляторного положення до 2025 року: шотландська “заборона на полігони” передбачає ще масштабнішу заборону на захоронення відходів на полігонах без попереднього оброблення, але також є і інші негативні фактори, які виникли внаслідок попередньо запланованої потреби у збільшенні обсягів спалювання відходів і подальшої потреби чекати досягнення цих обсягів; фактично, це означає, що заборона на захоронення необроблених відходів на полігонах діятиме ще впродовж багатьох років.

¹⁴ Для структурованого огляду вимог Директиви ЄС про захоронення відходів, доказів важливості програм ZW програм для мінімізації обсягів захоронення на полігонах, уникнення спалювання відходів, що може призвести до замкненого кола, див. документ ZWE з питань визначення цілей для полігонів,

¹⁵ За оцінками обсяги вловлювання біогазу на діючих полігонах ТПВ коливаються від 10 до 80%: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/20430779.2012.730798>

¹⁶ Technische Anleitung zur Verwertung, Behandlung und sonstigen Entsorgung von Siedlungsabfällen.

Після запровадження німецької постанови визначення “ефективного попереднього оброблення” і прийняття відходів на полігони на основі тестів на ферментабельність почали належним чином враховувати і в законодавчих базах інших країн. Це можна зробити за допомогою “респірометричних тестів” (наприклад, SOUR¹⁷ і DRI¹⁸), в яких здійснюється оцінка споживання кисню мікробами як індекс залишкового потенціалу до ферментації¹⁹, або за допомогою тестів потенційного виробництва метану, в яких так само проводиться оцінка обсягу залишкових органічних речовин, які потенційно можуть виробляти метан в анаеробних умовах, подібно тим, які спостерігаються на полігонах²⁰.

Загалом, правильний спосіб визначення поняття “прийнятність” і впровадження стратегій, передбачених у Директиві про захоронення відходів, полягає у проведенні тесту на ферментабельність маси відходів після попереднього оброблення.

Як покаже подальший аналіз, тест на здатність до ферментації маси відходів після попереднього оброблення має декілька позитивних аспектів. По-перше, це допомагає досягнути – і узгоджується – з загальними цілями Директиви ЄС про захоронення відходів. По-друге, це відповідає ключовим вимогам мінімізувати ферментабельність матеріалів на полігонах. По-третє, це значно зменшує викиди парникових газів²¹, а також створює можливості для гнучких операційних рішень, які не призводять до “замкненого кола” і не перешкоджають функціонуванню високоефективних систем перероблення і компостування. Як ми пояснимо у наступній частині, біологічне оброблення є доволі гнучким, оскільки передбачається, що на подальшому етапі його також можна використовувати для чистих матеріалів отриманих внаслідок роздільного збору (компостування органічних відходів).

¹⁷ <https://environment.ec.europa.eu/waste/compost/presentations/stentford.pdf>

¹⁸ <https://environment.ec.europa.eu/waste/compost/presentations/adani.pdf>

¹⁹ Такий підхід передбачено, наприклад, в німецькому, австрійському, італійському законодавстві щодо захоронення відходів на полігонах. Для детальнішого огляду шляхів визначення прийняття відходів на полігонах на основі залишкової ферментабельності, див. Müller, W. and Bulson, H., 2005: Stabilisation and Acceptance Criteria of Residual Wastes – Technologies and their Achievements in Europe. Proc. ORBIT Conference “Майбутнє управління залишковими відходами в Європі, майбутні виклики з питань зміни клімату і сталого управління потоками матеріалів”, Люксембург, 2005.

²⁰ Такий підхід був спочатку передбачений у LATS – регуляторному положенні Великої Британії (Схема торгівлі дозволами на полігонне депонування відходів).

²¹ Коротко кажучи, біологічна стабілізація руйнує більшу частину органічної речовини, яка біорозкладається, вивільняючи біогенний (отже, кліматично нейтральний) CO₂ від біогенних матеріалів, таких як залишки харчових продуктів, що запобігає подальшому утворенню метану після захоронення відходів, мінімізує запахи і привабливість полігону для шкідників, зменшує хімічну потужність полігонних фільтратів. У той самий час, викопний вуглець від таких матеріалів, як різні види пластику і штучні тканини, не перетворюється у CO₂ викопного походження, що, за інших обставин, становило би чистий тягар CO₂, і, відповідно, призвело би до прискорення глобального потепління.

Залишкові відходи: просто купа непотрібного сміття?

Програми Zero waste²², які є прекрасним інструментом для перетворення ідей кругової економіки у операційну реальність, продемонстрували і підкреслили важливість глибшого погляду на залишкові відходи.

Фактично, склад залишкових відходів є важливим джерелом інформації для:

- Порівняння і комбінування відсотків у залишкових відходах з тоннажем роздільно зібраних матеріалів, які допомагають нам обрахувати обсяги матеріалів, що підлягають переробленню і компостуванню
- Інформування осіб, відповідальних за прийняття рішень, про пріоритетні дії і стратегії, які необхідно враховувати з метою:
 - Покращення збору матеріалів, які підлягають переробленню/компостуванню,
 - Зміни підходу до виробництва матеріалів, які не підлягають переробленню або компостуванню, щоб забезпечити їх повторне використання, перероблення або компостування, або взагалі повністю вивести їх з виробничого циклу,
- Візуалізації типів матеріалів, на які варто спрямовувати увагу з метою подальшого відновлення до етапу остаточної утилізації.

Що стосується останнього пункту, необхідно зауважити, що обсяги роздільного збору, які передбачено у *Пакеті кругової економіки ЄС*, призводять до послідовного зменшення залишкових відходів і передбачають значну концентрацію матеріалів, які ще не враховуються завдяки роздільному збору²³. До цієї категорії належать матеріали, які на даний час не охоплюються системами роздільного збору, наприклад, види пластику, що не використовуються для упаковки і які не враховуються у схемах РВВ, а також матеріали, які можна збирати окремо, але їх помилково можуть доставляти із залишковими відходами.

Так само, вищеописаний особливо помітний “ефект концентрації” спостерігається щодо пластику, що в першу чергу пов’язано з усіма видами пластику, які не використовуються для упаковки, і які, як правило, не охоплюються системами роздільного збору, зазначеними у стратегії з питань розширеної відповідальності виробника (РВВ).

З метою оцінки характеру залишкових відходів після запровадження розширених систем роздільного збору, як це передбачено у *Пакеті кругової економіки ЄС*, необхідно враховувати склад залишкових відходів у тих регіонах, де вже успішно запроваджено роздільний збір основних матеріалів (відходи упаковки і біовідходи). Зокрема, важливо бачити вплив на залишкові відходи у тих регіонах, де вже введено в дію спеціальні зобов’язання роздільного збору біовідходів (що передбачається статтею 22 нової *Рамкової директиви про відходи*, крайній термін до 31 грудня 2023 року).

Таблиці 1a і 1b демонструють середній склад залишкових відходів у 2019 році у місті Мілан (населення – 1,35 мільйонів осіб), і у 2016 та 2017 рр. у столиці Словенії Любляні (населення – 300 000 осіб); у двох прикладах, збір відходів з вуличних контейнерів включає харчові відходи двох великих виробників таких відходів (сектор готельно-ресторанного бізнесу, овочеві та фруктові магазини, та ін.) і домашні господарства, загалом було досягнуто 65-70% роздільного збору²⁴.

²² <https://zerowastecities.eu/>

²³ Наприклад, ми можемо розглянути обсяг паперу у залишкових відходах, припускаючи, що ми починаємо від приблизно 25% паперу у ТПВ (тобто, приблизно 100 кг на особу, що дозволяє зробити припущення щодо виробництва ТПВ в обсязі 400 кг на особу на рік на певній території); навіть враховуючи відносно високі обсяги збору паперу (наприклад, 80%), все ще 20 кг паперу на особу на рік опиняється у залишкових відходах. За обставин, коли 75% ТПВ підлягають роздільному збору, залишкові відходи становлять всього лише 100 кг на особу на рік (25% від 400 кг). Відповідно, “ефект концентрації” допоможе визначити відсоток паперу у залишкових відходах, який становитиме аж 20% (20 кг паперу на особу від 100 кг залишкових відходів на особу), що становить значний відсоток.

²⁴ Мілан, як велике місто з щільною концентрацією населення, розглядався не випадково, а з метою перевірки наслідків, які можуть виникнути у ситуації, де оперативне запровадження роздільного збору, особливо що стосується біовідходів, може ускладнюватися внаслідок матеріально-побутових умов.

Аналіз залишкових відходів в Мілані і Любляні свідчить про два важливі фактори, які необхідно враховувати у системі відновлення матеріалів і біологічної обробки:

1. Досить вагомий відсоток волокон²⁵ і пластику (у меншій мірі, металів), що можна враховувати для подальшого відновлення матеріалів
2. Порівняно низький відсоток біовідходів (у порівнянні з ТПВ), внаслідок чого залишкові відходи мали би бути менш "брудними" (і липкими), що є передумовою більш ефективного функціонування обладнання, що використовується для розділення відходів на потоки.

МАТЕРІАЛ	МІЛАН (Середні показники за 2019)
Відходи електричного і електронного обладнання, високотемпературні відходи	0.1%
Папір та картон	29.3%
Інші види паперу	3%
Пластиковий посуд	1.1%
Пластикові упаковки	13.1%
Інші види пластику	2.2%
Текстиль, шкіра і гума	6.6%
Залізо	3.6%
Алюміній	0.8%
Багатошарові відходи	1.1%
Біовідходи	11.1%
Скло	5.8%
Підгузки	6%
Надтонкі матеріали <20	13.1%
Відходи садівництва	3.1%
Загалом	100%

Таблиця 1: Склад залишкових відходів у місті Мілан (населення – 1,35 мільйонів осіб) після роздільного збору відходів пакування і біовідходів, вдалося досягнути 60-65% роздільного збору (особиста комунікація, дані за 2019 рік).

²⁵ Термін "волокна" використовується на позначення целюлозних матеріалів, таких як папір і картон.

МАТЕРІАЛ	ЛЮБЛЯНА (Середні показники за 2017)
Відходи електричного і електронного обладнання, високотемпературні відходи	0.87
Папір та картон	21.5%
Інші види паперу	3.88%
Пластик (LD-PE, PP, PET, HD-PE)	10.08%
Інші види пластику	11.79%
Текстиль, шкіра і гума	7.67%
Залізо	2.53%
Інші метали	2.31%
Біовідходи	10.91%
Скло	2.29%
Підгузки	10.34%
Надтонкі матеріали <20	10.91%
Оброблена деревина	1.83%
Інші відходи (кістки, кераміка, каміння...)	2.11%
Упаковка Tetrapak	0.99%
Загалом	100%

Таблиця 2: Склад залишкових відходів у місті Любляна у 2017 році (населення – 300 000 осіб) після роздільного збору відходів упаковки і біовідходів²⁶.

²⁶ http://ebm.si/zv/wp-content/uploads/2018/04/ZW_porocilo_MOL_2018.pdf

Концепція відновлення та біологічного оброблення матеріалів (MRBT)

Стратегію „з'єднувального містка“ для управління залишковими відходами необхідно розробити таким чином, щоб вона одночасно:

1. Відповідала зобов'язанням щодо попереднього оброблення з метою забезпечення сталого зменшення негативного впливу, зокрема, в аспекті забезпечення здатності матеріалів, що можуть біорозкладатися, піддаватися ферментації, про що йшлося у попередніх розділах;
2. Забезпечувала зменшення загальних обсягів/ваги відходів, які в подальшому захоронюють на полігонах²⁷;
3. Окрім того, у світлі мети 1 і 2, будь-яка дієва стратегія управління залишковими відходами повинна забезпечувати операційну гнучкість системи. Таким чином, вдасться уникнути будь-якого потенційного незабезпечення потреби у постійній генерації відходів і забезпечити те, що створена система зможе гнучко адаптуватися до зростання обсягів матеріалів, зібраних шляхом роздільного збору, і до подальшого зменшення обсягів залишкових відходів.

Якщо говорити про останню мету, то для забезпечення варіантів перероблення залишкових відходів необхідно забезпечити обладнання, яке може використовуватися на подальшому етапі і яке потрібне для роботи з матеріалами, зібраними шляхом роздільного збору. На спалювальних заводах можна лише спалювати *матеріали* (окрім відновлення металів) і перетворювати їх в енергію, а це суперечить базовому принципу кругової економіки, який передбачає утримання матеріалів використанні. Той же принцип стосується традиційної концепції ділянок MBT (Mechanical Biological Treatment Механіко-біологічного оброблення²⁸). На ділянках MBT використовується спеціальне обладнання для виробництва RDF (Refuse-derived Fuel – палива з ТПВ) із горючих фракцій, наприклад, паперу та пластику. Це обладнання не можливо адаптувати для оброблення чистих матеріалів, які було зібрано шляхом роздільного збору, оскільки їхнє перетворення на RDF суперечить самій меті роздільного збору (який скерований на відновлення матеріалів).

Однак якщо замінити установки для виробництва RDF на заводах MBT обладнанням для сортування залишкових відходів і відновлення матеріалів, які варто відновлювати (див. попередній розділ), то таким чином можна забезпечити:

1. Зменшення негативного впливу на полігонах у зв'язку з біологічним обробленням брудних органічних матеріалів;
2. Достатню переадресацію відходів з полігонів, у зв'язку з технологічними втратами²⁹, пов'язаними з біологічною стабілізацією і відновленням деяких інших матеріалів³⁰;
3. Гнучкість операційної схеми, за умови, що системи сортування можуть аналогічно використовуватися для матеріалів, отриманих за програмами збору сировини для подальшого роздільного отримання різних металів, різних полімерів та різних видів паперу після роздільного збору, з метою підвищення ефективності збору та роботи систем подальшого перероблення.

²⁷ Однак тут оцінку легше здійснювати за загальним тоннажем (або кг на особу, щоб можна було зіставляти цифри за районами з різними демографічними умовами), який в кінцевому результаті конкретна територія доставляє на полігон. Іншими словами, не настільки важливим є відсоток залишкових відходів, які в кінцевому результаті потрапляють на полігон після попереднього оброблення, як тоннаж, якого стосується цей відсоток. Див. також документ ZWE (про нульові відходи) щодо цілей для полігонів (і пам'ятайте про його ключові повідомлення, які полягають у тому, що 10% тістечка – це куди більше, ніж 100% бісквіту).

²⁸ Традиційна схема MBT передбачає установку для біологічного оброблення, робота якої спрямована на стабілізації частини відходів, яка підлягає ферментації, а також установка для механічного перероблення сухих фракцій на матеріал з високою теплотворною здатністю, який називається паливом із ТПВ (RDF).

²⁹ Під „технологічними втратами“ мається на увазі вивільнення біогенного CO₂ і водяної пари в процесі стабілізації частини відходів, які підлягають біорозкладанню.

³⁰ Згідно з довгостроковим баченням, спрямованим на мінімізацію захоронення на полігоні, значення має не відсоток відходів, а обсяги їхнього тоннажу. Відтак, на перший план виходить гнучкість системи, тоді як ефективність відновлення із залишкових відходів може вважатися „координованою ціллю“, але не найважливішою.

Поєднання цих операційних цілей можна описати як „Відновлення та біологічне оброблення матеріалів” (MRBT³¹). Це – ключ до розмежування із застарілим MBT³² та підкреслення запланованої мети об’єднання процесів відновлення деяких відходів і біологічної стабілізації матеріалів, які піддаються ферментації, перед їхнім захороненням на полігоні.

Обговорюючи і аналізуючи MRBT, слід послідовно враховувати один ключовий принцип операційної діяльності:

Біологічна стабілізація органічних речовин, що містяться у залишкових відходах, має на меті зменшення здатності піддаватися ферментації і відповідні наслідки лише при захороненні на полігоні.

Це поганий варіант для виготовлення компосту, і його не слід розглядати з такою метою. Тут враховано забруднення органіки іншими матеріалами внаслідок процесу механічного розділення відходів. Існує чимало переконливих доказів³³, які ілюструють ефективність роздільного збору як передумови забезпечення якості компостованих матеріалів, максимального забезпечення результативності цієї процедури і запобігання будь-якому потенційному негативному впливу.

По суті, на цій думці базується одне із ключових положень Пакету кругової економіки ЄС, нової версії Рамкової Директиви про відходи, в якій обумовлено:

(ст. 22) Держави-члени зобов’язуються забезпечити до 31 грудня 2023 року (...) щоб біовідходи розділялися та перероблялися у місці утворення або роздільно збиралися та не змішувалися з іншими відходами.

i

(ст. 11a) Станом на 1 січня 2027 року держави-члени можуть вважати побутові біовідходи, які потрапляють на аеробне чи анаеробне перероблення, переробленими виключно у випадку, якщо, у відповідності до Статті 22, вони були зібрані шляхом роздільного збору чи розділені біля джерела утворення.

Стаття 22 вимагає роздільного збору як **передумови** компостування матеріалів, які можна використовувати на землі без жодних згубних впливів. Натомість статтю 11a часто тлумачать як „заборону механіко-біологічного оброблення”, і, таким чином, заохочують до спалювання відходів; по суті, у статті 11a лише визначено, що „продукцію компостного типу”, яку іноді називають „змішаним компостом ТПВ”, не можна вважати „переробленою”. Однак можна спробувати застосувати біологічну стабілізацію як спосіб попереднього оброблення відходів до захоронення на полігоні, і це дасть відповідні переваги в аспекті зменшення впливу та забезпечення гнучкості.

³¹ Див. також попередній аналіз екологічного впливу MRBT <https://zerowasteurope.eu/2013/05/what-to-do-with-the-leftovers-of-zero-waste/>

³² Ключові відмінності полягають у тому, що MBT передбачає обладнання для виробництва RDFB, тоді як MRBT замінює його системами для відновлення матеріалів.

³³ https://ec.europa.eu/environment/pdf/waste/compost/hm_finalreport.pdf

Можлива структура та операційні цілі MRBT

Враховуючи операційні цілі попереднього оброблення в рамках сталої, гнучкої стратегії, яка піддається адаптації, MRBT передбачає три базові частини:

- **Установка для розділення сухих матеріалів від органічних.** Найпростіший шлях досягнення цієї цілі полягає в установці первинних екранів за машинами для відкривання мішків та пакетів. Первинні екрани дозволяють перетворювати більшість сухих матеріалів, зокрема, папір, пластик, метали і картон, у крупніші, більші матеріали, тоді як більшість органічних речовин перетворюються на дрібніші матеріали.
- **Установка для „механічного сортування”.** Вона призначена для крупних, сухих матеріалів, які відділяються від органічних речовин на початку процесу, завдяки роботі більшості чи всіх елементів такого обладнання:
 - Балістичні сепаратори: вони сортують матеріали на 2D/3D потоки, відтак, можуть відділяти такі матеріали, як пластикова плівка, від пляшок;
 - Оптичні сортувальні пристрої: вони допомагають відділяти матеріали за кольором, формою, структурними властивостями та хімічним складом, відсортовуючи, скажімо, різні полімери чи різні види паперу;
 - Магніти: для відділення чорних металів;
 - Вихрові сепаратори: для відділення кольорових металів;
 - Екструдери: вони можуть підвищувати загальний рівень відновлення шляхом перетворення полімерів низької категорії у нові комплекси.

Можна поєднувати різні процеси і відповідне обладнання, щоб відновлювати окремі види матеріалів. Їх можна визначати як матеріали з високим вмістом у залишкових відходах, а також за їхньою вартістю на ринку чи за відповідною ціною розділення та вартістю розміщення на полігонах.

- **Установка для біологічного оброблення органічних матеріалів,** розділення яких здійснюється механічним способом. Це має бути процес „схожий на компостування”, який покликаний сприяти зменшенню здатності до ферментування і досягненню „стабільності” органічних речовин. Для прикладу, тут може йтися про чітке зменшення біохімічної активності з метою зведення до мінімуму відповідного впливу уже на полігонах. Робота такої установки повинна базуватися на операційних принципах, схожих до компостування, зокрема:
 - Примусова аерація для забезпечення киснем і виведення надлишкового тепла із системи;
 - Обертання, якщо/коли необхідно, щоб знову ущільнити масу і змусити її пройти примусову аерацію;
 - Установка для оброблення запаху, в тому числі щонайменше біофільтрації (адже це найефективніша система зменшення запаху, у разі, якщо йдеться про повітря, що виходить внаслідок процесу біологічного оброблення і компостування), у поєднанні з мокрою очисткою на найбільш уразливих ділянках.

Можна також включити анаеробне живлення до цієї схеми, щоб покращити енергетичний баланс і утримати біогенний вуглець, у вигляді метану, для його використання в якості відновлювального заміниacza традиційного палива. Однак після анаеробного зброджування необхідно провести кінцеву аеробно-біологічну стабілізацію збродженого органічного залишку, щоб зменшити до мінімуму здатність води до ферментування перед потраплянням на полігони.

Сумарний ефект роботи трьох установок, про які йдеться вище, у структурі MRBT передбачає, що система одночасно зможе забезпечувати:

- Підвищення біохімічної стабільності матеріалів, що піддаються ферментуванню допоможе зменшити негативний вплив після захоронення таких матеріалів на полігонах;
- Зменшення сумарної ваги відходів, захоронених на полігонах, завдяки:
 - Технологічним втратам (наприклад, CO₂ і води) внаслідок біологічної стабілізації,
 - Відновленню матеріалів (металів та/чи пластику і/чи паперу);
- Підвищення гнучкості та здатності адаптуватися в межах системи до:
 - Зростання обсягів чистих органічних матеріалів, які можна переробляти роздільно, щоб продукувати компост (система повинна бути розроблена таким чином, щоб вона могла працювати на модульній основі),
 - Зростання обсягів сухої вторинної сировини, отриманої внаслідок роздільного збору, роботу у різні робочі зміни для забезпечення роздільного збору і механічного оброблення залишкових відходів.

До підходу zero waste надзвичайно важливо також включити **відповідну ділянку, на якій слід постійно застосовувати „Дослідницький центр Zero Waste для товарів і матеріалів, які погано піддаються переробленню”³⁴**. Слід зосередитися на тих елементах залишкових відходів, з якими можна працювати шляхом переформатування чи застосування нових бізнес-моделей, щоб зробити їх більш придатними для повторного використання/перероблення. Такі моделі вже довели свою ефективність у роботі з матеріалами, які не піддавалися переробленню, і в подальшому їх було переформатовано шляхом забезпечення промислової відповідальності³⁵, або на них було спрямовано нові бізнес-моделі, що базувалися на принципі „товар як послуга” (як, наприклад, у випадку з тканинними підгузками із забезпеченням централізованого прання).

В ідеалі, такий Дослідницький центр Zero Waste повинен залучати університети, дизайнерів і усіх людей, які мають певні навички та знання щодо роботи із проблемними матеріалами, для вирішення відповідних проблем з переробленням, дизайном продукції та інноваційними бізнес-моделями.

Якщо говорити про „потенціал відновлення” об’єктів, на яких здійснюється відновлення та біологічне оброблення матеріалів, то він коливається залежно від складу залишкових відходів та операційного дизайну, який застосовується. Тут важливо відзначити таке:

1. Відновлення матеріалів із залишкових відходів застосовується на різних ділянках різного ступеня складності. Очевидно, що ефективність відновлення матеріалів у системах MRBT не може дорівнювати ефективності відновлення при роздільному зборі матеріалів, це і є основною причиною, чому стратегії ЄС і прихильники концепції zero waste надають перевагу роздільному збору. Однак при цьому все ж можна формувати потоки матеріалів, для перероблення і маркетинг.
2. Найпростіший із підходів – це розділення металів (чорних і/чи кольорових), і він, зазвичай, застосовується також і на старих об’єктах біологічного оброблення матеріалів³⁶. Станом на сьогоднішній день все більше ділянок також застосовують розділення пластику, картону і волокон³⁷.

³⁴ Роль та важливість Дослідницького центру Zero Waste вперше визначив Пол Коннетт, і про це йдеться у його книзі: The Zero Waste Solution: Unrashing the Planet One Community at a Time (Chelsea Green, 2013, с. 69-72).

³⁵ Див., до прикладу, цю статтю про заходи, вжиті після дослідження залишкових відходів, італійською організацією Zero Waste, яка в кінцевому результаті стимулювала виробників кавових капсул змінити їхній дизайн таким чином, щоб забезпечити їхнє перероблення www.zerowasteitaly.org/the-open-case-study-of-the-zero-waste-research-center-of-capannori-lucca-on-the-lavazza-coffee-pods-starts-delivering-results

³⁶ Традиційно, на більшості об’єктів MBT варіанти відновлення матеріалів поєднуються з виробництвом RDF, щоб максимально збільшити переадресацію відходів з полігонів. Однак в такому випадку відсоток RDF у сумарній масі стає незначним (відтак, його можна взагалі не враховувати) на об’єктах, де варіанти відновлення матеріалів передбачені для різних матеріалів.

³⁷ www.avr.nl/en/plastic-separation-from-residual-waste-bag і docplayer.net/34604553-Materials-recovery-from-municipal-solid-waste-ecoparc-4-barcelona-a-case-study.html

3. Рівень відновлення матеріалів суттєво залежить від двох базових умов:

- Складу залишкових відходів, який визначається еволюцією і структурою роздільного збору. Для прикладу, при найвищому рівні роздільного збору, пластик, як правило, перебуває у залишкових відходах у високій концентрації, зокрема, якщо йдеться про „непакувальний пластик“, до якого не застосовується роздільний збір;
- Значний вплив має відсоток органічних матеріалів у залишкових відходах. Низький відсоток підвищує ефективність сортувального обладнання і вартість відновлених матеріалів, оскільки залишкові відходи виглядають менш брудними/липкими і проходять якіснішу обробку сортувальними системами у сортувальних системах³⁸. Тоді як високий відсоток органічних речовин у залишкових відходах (наприклад, тих, які традиційно можна побачити у схемах, в яких поки що не застосовувався роздільний збір харчових відходів) може забезпечити деякий рівень відновлення металів та пластику, якщо концентрація органічних речовин є мінімальною і на цьому етапі можна застосовувати ретельніше розділення, що допоможе збільшити обсяги матеріалів, які планується відновити, наприклад, волокон;

4. Може виникати деяке зацікавлення у подальшому зростанні відновлення пластику, завдяки таким процесам, як екструзія, коли різні полімери змішують в неоднорідні комплекси для тривалого вжитку. Оскільки екструзію можна чітко назвати варіантом „перероблення відходів з отриманням продукції гіршої якості порівняно з вихідною продукцією“, то, незважаючи на розташування на нижчих рівнях ієрархії відходів, вона все ж може відповідати технічним стандартам для різного застосування, наприклад, для палет, черепиці, водостічних труб тощо.

5. Як уже зазначалося, переадресація відходів з полігонів за допомогою відновлення матеріалів доповнюється переадресацією, яка базується на технологічних втратах, отриманих внаслідок стабілізації частини маси відходів, яка виявляє здатність до ферментування.

Якщо врахувати усі ці чинники, то MRBT можна спроектувати таким чином, щоб цей процес відповідав різним бажаним рівням переадресації та відновлення матеріалів, залежно від цінності матеріалів, вартості захоронення на полігоні, а також від того, наскільки важливо досягти максимального відсотка переадресації.

У таблиці 3 на наступній сторінці надано інформацію про різні рівні переадресації, а також про шляхи їхнього поєднання.

³⁸ Слід відзначити, що послідовна переадресація органічних речовин невдовзі стане звичною практикою по всій Європі, що пов'язано з зобов'язаннями щодо роздільного збору і управління біовідходами, передбаченими статтею 22 Директиви. Це підкреслює важливість зв'язку між передовими практиками кругової економіки і застосуванням систем оброблення для залишкових відходів, що базуються на відновленні матеріалів.

ТИП ПЕРЕАДРЕСАЦІЇ / ЦІЛЬОВИЙ МАТЕРІАЛ	ПОТЕНЦІЙНА ПЕРЕАДРЕСАЦІЯ ³⁹	ФАКТОРИ ВПЛИВУ (У ПОРЯДКУ ВАЖЛИВОСТІ)
Втрати через біологічну стабілізацію	10-20%	Залежать від: 1. Відсотку органіки у залишкових відходах 2. Тривалості стабілізації (зазвичай, найкращий коефіцієнт між тривалістю і вартістю процесу та стабілізація досягаються приблизно на 4-5 тижні; завдяки цьому можна домогтися втрати 40-50% маси стабілізованих матеріалів, що залежить також від ступеню вологості).
Метали (чорні і кольорові)	2-6%	Залежать від відсотку металів і від того, чи проводиться збір чорних і кольорових металів окремо або разом.
Пластик	5-25%	Залежать від: 1. Відсотку пластику у залишкових відходах 2. Кількості оптичних сортерів 3. Застосування екструзії для максимального відновлення 4. Застосування ручного сортування для 2D пластику (плівки)
Волокна (папір, картон)	5-15%	Залежать від: 1. Відсотку волокон у залишкових відходах 2. Відсотку органіки у залишкових відходах (впливає на доцільність операцій з відновлення) 3. Кількість оптичних сортерів 4. Застосування ручного сортування, наприклад, для картону

Таблиця 3: схематичний перелік частки різних матеріалів для оцінки співвідношення маси та переадресації відходів з полігонів за допомогою MRBT залишкових відходів.

Найважливіший чинник, який слід врахувати, – це можливість забезпечувати гнучкість системи, здатність адаптуватися до зменшення тоннажу залишкових відходів у зв'язку з переходом до кругової економіки. Зменшення тоннажу залишкових відходів можна компенсувати зростанням обсягів матеріалів, отриманих шляхом роздільного збору, забезпеченням життєздатності в операційному та фінансовому плані, а також мінімізації будь-яких протиріч між роздільним збором, круговою економікою та експлуатацією наявних потужностей, розроблених в період, коли залишкові відходи відігравали набагато більшу роль.

³⁹ Як відсоток вхідних матеріалів на об'єкті MRBT. Зрозуміло, що матеріали, що мають найвищий відсоток присутності, конкурують між собою, оскільки що вищий рівень наявності будь-якого матеріалу, то нижчий рівень наявності інших матеріалів. Найвищі рівні відновлення складають близько 30-35% залишкових відходів, і сюди можна додати технологічні втрати при стабілізації на рівні ще 10%.

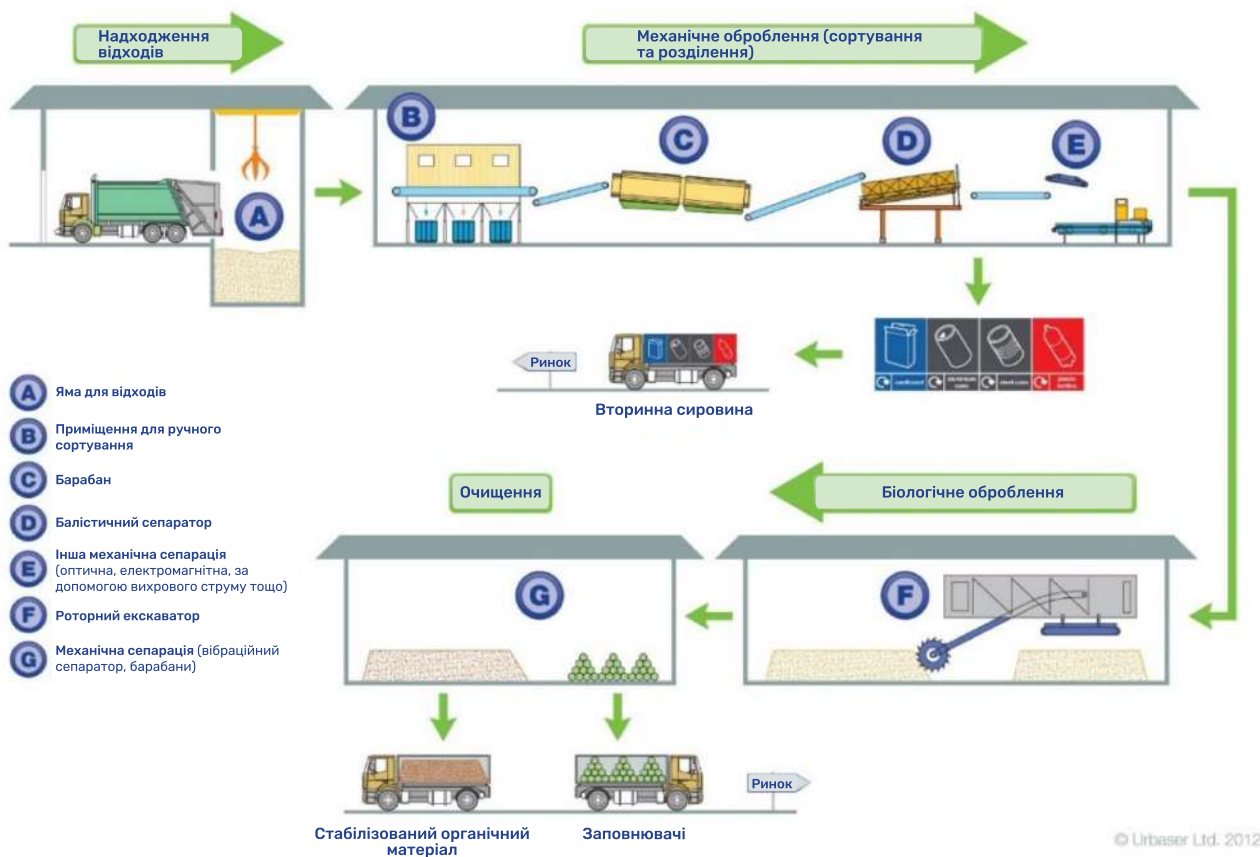


Рисунок 1: схема (дещо видозмінена) об'єкта MRBT (джерело: Morris et al: What is the best disposal option for the "Leftovers" on the way to Zero Waste?, Eco-Cycle, www.ecocycle.org/specialreports/leftovers).

Рисунок є схематичним і має на меті візуалізувати основні технологічні процеси (сортування, відновлення матеріалів, біологічна стабілізація). Як пояснено у тексті, поєднання і послідовність цих процесів можуть різнитися залежно від місцевих потреб та умов.

Навіщо потрібна стратегія „з'єднувального містка” для залишкових відходів: переваги MRBT

Відправним моментом для появи цієї праці про стратегію „з'єднувального містка” для залишкових відходів став нормативний контекст, завдяки якому забезпечується відповідність попереднього оброблення залишкових відходів вимогам Директиви Європейського Союзу про захоронення відходів. Зобов'язання щодо попереднього оброблення виступало одним із найважливіших стимулів на шляху до покращення управління відходами по ЄС, адже таким чином мінімізується негативний вплив полігонів, а вартість утилізації одночасно зростає. Відтак, зменшення утворення відходів, повторне використання і перероблення стають значно привабливими.

Зобов'язання щодо попереднього оброблення справді зумовлює потребу у негайних та відповідних інвестиціях, які залежать від поточного рівня залишкових відходів, навіть попри те, що з часом цей рівень неминує знизиться.

Отже, ключовим аспектом, на якому необхідно наголошувати і визначити як пріоритет, стає гнучкість системи управління залишковими відходами. Варіанти обробки залишкових відходів повинні бути розроблені таким чином, щоб, попри вектор на мінімізацію впливу полігонів (в дусі *Директиви про захоронення відходів ЄС*), вони також забезпечували здатність системи адаптуватися до роботи зі збільшеним тоннажем матеріалів, отриманих шляхом роздільного збору, при одночасному зменшенні обсягів залишкових відходів.

Варіанти оброблення залишкових відходів, які базуються на концепції MRBT, вказують на різні переваги порівняно з сміттєспалюванням та сумісним спалюванням відходів:

- MRBT-типи оброблення суттєво **краще піддаються масштабуванню** (тобто можуть пристосовуватися до різних видів операційних потужностей), ніж сміттєспалювання. MRBT базується на системах біологічної стабілізації та механічного сортування, які, за своєю суттю, є модульними. Тоді як найкращі існуючі технології (BAT) на сміттєспалювальних заводах зумовлюють значні втрати від масштабу, а також є менш ефективними при нижчому рівні, ніж 100 000–150 000 т/рік,⁴⁰ MRBT може працювати при набагато нижчому рівні, ніж 100 000 т/рік (чимало ділянок біологічного оброблення працюють при рівні, нижчому ніж 50 000 т/рік). Відтак, MRBT може краще вирішувати проблему близькості у розташуванні⁴¹ і перетворювати різні райони на повністю автономні в плані управління залишковими відходами.
- Ділянки, призначені для роботи на основі біологічної стабілізації та відновлення матеріалів, є дуже конкурентними в плані вартості порівняно зі сміттєспалюванням. Капітальні витрати на рівні BAT можуть бути в діапазоні 200–400 євро з т/рік встановленої потужності⁴², тоді як технології сміттєспалювання BAT традиційно передбачають 1000 євро за т/рік і більше⁴³. Це передбачає менше використання фінансових ресурсів на управління залишковими відходами, і тоді на роздільний збір, повторне використання і переробку можна витратити більшу частину бюджету.
- Типи установок для MRBT традиційно є **швидшими у роботі**, ніж сміттєспалювальні заводи. Планування, закупівлі, отримання дозволів, будівництво і затвердження можуть тривати два роки, а це набагато менше, ніж час, необхідний для запуску та початку роботи сміттєспалювального заводу. Це означає „економію часу” при дотриманні Директиви про захоронення відходів ЄС, а також при підготовці до забезпечення попереднього оброблення з одночасним зменшенням до мінімуму негативного впливу полігонів.

⁴⁰ Eunomia et al: Costs for Municipal Waste Management in the EU – Доступ до кінцевого звіту можна отримати за посиланням: ec.europa.eu/environment/waste/studies/eucostwaste.pdf

⁴¹ Принцип „близькості”, за визначенням політики ЄС щодо відходів, передбачає, що відходи слід утилізувати якомога ближче до джерела їхнього походження. Режим доступу: ec.europa.eu/environment/archives/enlarg/handbook/waste.pdf

⁴² Arcadis et al: Assessment Of The Options To Improve The Management Of Bio-waste In The European Union, Final Report, Annex E, Approach to estimating costs. Режим доступу: ec.europa.eu/environment/waste/compost/pdf

⁴³ Параметр, про який тут йдеться, – це вартість інвестицій на одиницю (капітальні витрати на одиницю). Операційні витрати можуть відрізнятися за кількома ключовими параметрами, наприклад, місцевою вартістю робочої сили, вартістю енергії та палива, і, окрім цього, вхідними тарифами за приймання бракованих відходів на полігони тощо. Традиційно, операційні витрати з платою за полігон на рівні близько 60 євро/т можуть бути в діапазоні 60–65 євро/т, з урахуванням кінцевої утилізації на полігонах.

- Типи установок MRBT є дружніми до клімату, оскільки завдяки біологічній стабілізації вони розкладають лише біогенні матеріали і відновлюють матеріали, що базуються на викопному паливі (чи, в кінцевому результаті, захоронюють їх на полігонах, забезпечуючи секвестрацію вуглецю), тоді як CO₂ традиційного походження виділяється при спалюванні та сумісному спалюванні відходів (спалюючи RDF, значна частина яких складається із пластику та інших традиційних матеріалів, як от штучні волокна). Це особливо важливо, якщо враховувати поточний процес декарбонізації економіки та енергетичної галузі в ЄС, який передбачає потребу у поступовому зменшенні викидів парникових газів і стабільному досягненні нуля до 2050 року або й раніше.
- Найважливіший операційний аспект MRBT полягає в його внутрішньо-притаманній гнучкості. Адаптивна здатність MRBT забезпечується тим, що цей процес передбачає:
 - Технологічні системи біологічної стабілізації, які можна адаптувати на модульній основі до обробки також чистих органічних матеріалів, отриманих за рахунок відповідних схем роздільного збору.
 - Обладнання для оптичного, балістичного, магнітного розділення, яке може використовуватися в різні робочі зміни також для збільшення обсягів сухої вторинної сировини на основі схем збору (вторинної) сировини.

Зі стратегічного погляду, врахування гнучкості, необхідної для досягнення амбітних цілей, визначених порядком денним кругової економіки ЄС, – **це, мабуть, найбільша конкурентна перевага порівняно з спалюванням та сумісним спалюванням відходів⁴⁴.**

⁴⁴ Виробництво RDF у MBT старого стилю вимагає установок для очищення залежно від щільності, які не підходять для сортування різних видів вторинної сировини, отриманих шляхом роздільного збору, на потоки для перероблення.

Стратегічні рекомендації

У цьому документі підкреслено важливість застосування Відновлення та біологічного оброблення матеріалів як стратегії управління залишковими відходами у круговій економіці. Ця процедура забезпечить узгодженість між потребою у дотриманні *Директиви ЄС про захоронення відходів*, з одного боку, і потребою в утриманні від варіантів, які можуть зумовити незабезпечення і відсутність можливості реалізації амбітної дорожньої карти кругової економіки, з іншого боку.

Враховуючи це, Zero Waste Europe закликає застосовувати відповідну стратегію ЄС щодо управління залишковими відходами. Це передбачає такі кроки, спрямовані на консолідацію ключових повідомлень та стратегічних напрямків:

- Комунікація Європейської Комісії (ЕК) щодо ролі захоронення на полігонах у круговій Європі. Ці заходи будуть схожими до комунікації ЕК щодо перетворення відходів на енергію⁴⁵ (січень 2017 р.) і можуть передбачати такі ключові повідомлення:
 1. Роль полігонів повинна бути залишковою, їхня потужність не повинна бути надмірною.
 2. Слід пам'ятати про те, що необхідною передумовою є попереднє оброблення залишкових відходів.
 3. Визначення ключових цілей Директиви про захоронення відходів (зменшення впливу до мінімуму) і способу кодифікації відповідного „приймання” на полігонах.
 4. Визначення можливостей відновлення матеріалів із залишків.
 5. Повинні також включати деякі основні ідеї біологічного оброблення, щоб уникнути непорозуміння щодо того, що „МВТ скоро буде заборонено”.
- Слід визначити загальний підхід для всього ЄС, що передбачає кодифікацію „попереднього оброблення” і цілей біологічного оброблення. Такий новий підхід повинен бути позбавленим параметрів, які збивають з пантелику, зокрема, таких, як теплотворна здатність; у ньому слід наголосити на важливості стабільності і перелічити можливі способи кодифікації (чи навіть сформулювати стандарт ЄС, який може кодифікувати Європейський комітет зі стандартизації CEN).
- Слід розробити загальне дослідження для ЄС щодо технологій, які можна використовувати для відновлення матеріалів із залишкових відходів, а також відповідного застосування відновлених матеріалів, щодо поточних ініціатив, передової практики та ділянок біологічного оброблення, які вже трансформувалися у ділянки для компостування (повністю чи частково).
- Підтримка, за допомогою відповідних програм фінансування, трансформації наявних ділянок МВТ у ділянки MRBT, і подальше їхнє переоснащення (часткове або суцільне, залежно від ситуації) на ділянки для компостування і чисті установки для відновлення матеріалів з метою забезпечення потужностей для перероблення чистих органічних матеріалів (які формуються за рахунок поширення роздільного збору біовідходів у відповідності до статті 22 Рамкової директиви про відходи) і сухої вторинної сировини.

⁴⁵ <https://environment.ec.europa.eu/waste/waste-to-energy.pdf>

Автор: Енцо Фавоіно (Enzo Favoino)
Рецензент: Янек Вак (Janek Vahk)
Редактор: Росела Рекуперо (Rossella Recupero)

Zero Waste Europe, 2020 рік



Zero Waste Europe – це європейська спільнота громад, місцевих лідерів, підприємців, експертів і агентів змін, які працюють на одну спільну мету: забрати відходи з життя нашого суспільства. Ми посилюємо потенціал громад, щоб вони переосмислили своє ставлення до ресурсів, змінили спосіб життя і перейшли на сталу модель споживання.



Zero Waste Europe висловлює подяку за фінансову допомогу Європейського Союзу. Єдина відповідальність за публікацію цього матеріалу лежить на Zero Waste Europe. Документ не містить думки вищезгаданого фінансового донора. Фінансовий донор не несе відповідальність за будь-яке використання інформації, що міститься у цьому документі.

Документ перекладено на українську та здизайновано за фінансової підтримки Global Alliance for Incinerator Alternatives (GAIA).

ДОДАТОК: Вплив на зміну клімату та переваги MRBT

MRBT здатен забезпечити деякі надзвичайно важливі переваги для пом'якшення наслідків зміни клімату. Для глибокого аналізу цих переваг ми розглядаємо залишкові відходи як такі, що складаються із наступних чотирьох класів матеріалів:

1. **«Сухі матеріали, придатні для перероблення», які є негорючими**, наприклад метали та скло, перероблення яких може забезпечити переваги, але які не виробляють енергію у разі спалювання та не викидають парникові гази в разі захоронення;
2. **«Сухі матеріали, придатні для перероблення», які є горючими, але мають викопне походження**, наприклад, пластик і синтетичний текстиль, перероблення яких може забезпечити переваги, спалювання яких може виробляти енергію та які генерують невеликі обсяги метану на полігонах;
3. **«Сухі матеріали, придатні для перероблення», які є горючими, але мають біогенне походження**, наприклад папір і деревина, перероблення яких може забезпечити переваги, а внаслідок їх спалювання може вироблятися енергія; деякі з них можуть призвести до високого рівня утворення метану на полігонах, а частина їх вуглецю може бути секвестрована на полігонах;
4. **Харчові відходи, які є горючими, але мають біогенне походження**, з яких може вироблятися енергія внаслідок їх спалювання разом з іншими відходами (які, втім, можуть не бути автогенними, якщо їх спалюють окремо), і які призводять до утворення метану на полігонах.

Спосіб оцінки чистої ефективності полігонів і сміттеспалювальних заводів графічно зображено на рис. 2 і рис. 3⁴⁶. Ми змоделювали ефективність полігонів і сміттеспалювальних заводів, використовуючи змінні припущення щодо типу джерела енергії, якого намагаються «уникнути», коли енергія утворюється чи на сміттеспалювальному заводі, чи на полігоні.

В аналізі, представленому нижче, залишкові відходи належать до типу відходів, отриманих в Європейському Союзі за прийнятною продуктивності перероблення.



Розкладається лише вуглець невикопного походження, в деяких випадках впродовж тривалого часу.

Лише неконтрольований (неуловлений) елемент сприяє утворенню метану.

Певна компенсація за рахунок відновлення енергії (не постачальник енергії).

Рисунок 2: Внесок відходів у викиди ПГ у разі захоронення⁴⁷ (на графіку позитивний або негативний внесок позначено як + чи - відповідно).

⁴⁶ В аналізі, представленому нижче, залишкові відходи належать до типу відходів, отриманих за прийнятною продуктивності перероблення у типовій ситуації в ЄС.

⁴⁷ Потенціал глобального потепління CH₄, використаний для здійснення розрахунків, становить 34.



Більшість горючого – викопного та невикопного – вуглецю перетворюється миттєво.

Різні оцінки N2O.

Більша (порівняно з полігонами) компенсація від виробництва енергії (чистий постачальник енергії).

Компенсація від перероблення матеріалів.

Рисунок 3: Внесок відходів у викиди ПГ у разі спалювання (на графіку позитивний або негативний внесок позначено як + чи - відповідно).

На рисунку 4 викиди CO₂ від спалювання відходів – у крайньому лівому стовпчику – розподілені приблизно порівну між викопною та невикопною фракціями. Це не означає, що вага кожного виду відходів однакова. Фракції викопного вуглецю зазвичай базуються на вуглеводневих сполуках, причому більшу частину маси молекул-компонентів становить вуглець, тоді як молекулярна маса водню значно менша, а інші елементи взагалі мають невеликий внесок. Що стосується органічних матеріалів, на вуглець припадає менша частка молекулярної маси, яка містить внески кисню, азоту та інших елементів з молекулярною масою, яку можна порівняти із молекулярною масою вуглецю. Харчові та садові відходи здебільшого також мають більший вміст вологи, ніж пластик. Звідси випливає, що зазвичай, порівняно з пластиком, значно менша частка біовідходів, зважених на момент отримання, є вуглецевою.

Існує певний внесок у викиди від використання палива, але він відносно незначний. Внесок «матеріалів» відображає вигоди, пов'язані з процесом вилучення металів (алюмінію та сталі) для перероблення. Ці матеріали здебільшого мають відносно низьку якість, але вони, тим не менш, можуть замінити використання первинних матеріалів, а тому **існує «економія», пов'язана з уникненням використання первинних металів у виробництві.**

Компенсація виробництва енергії базується на можливості уникнути використання вугілля, та насправді вона більша, ніж викиди CO₂ з викопного палива, оскільки присутній і внесок в енергію, вироблену з невикопної фракції. У підсумку чиста позиція сміттєспалювального заводу передбачає «чисті негативні» викиди, коли викиди від перероблення та виробництва енергії, яких вдалося уникнути, враховуються, а викиди невикопного CO₂ віднімаються.

Думка про передбачувану перевагу спалювання як засобу управління відходами стала особливо потужною в період, коли ще могли бути обґрунтованими припущення, що будь-яка електроенергія, вироблена сміттєспалювальним заводом, здатна витіснити виробництво вугільної електроенергії або опалення за допомогою нафти. Це, однак, не завжди було виправдано, навіть коли вугілля широко використовувалось для виробництва електроенергії, а нафта – для опалення. Багато залежало від того, чи споживання електроенергії або тепла зростає чи зменшується, і які граничні джерела електроенергії чи тепла витісняються енергією, виробленою сміттєспалювальним заводом у різні пори дня та року. Можна помітити, що коли викиди невикопного CO₂ ігноруються, чиста позиція сміттєспалювального заводу особливо критично залежить від показника компенсації, пов'язаного (у цьому випадку) з виробництвом електроенергії.

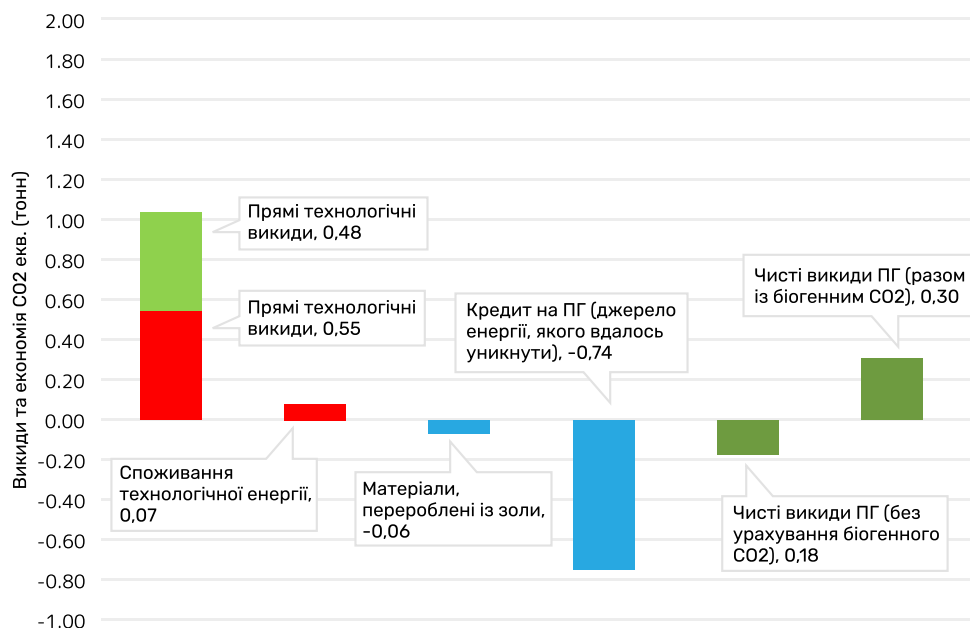


Рисунок 4: Внесок тонни змішаних відходів у викиди ПГ під час спалювання з метою виробництва електроенергії (джерело електроенергії, яке компенсується = вугілля)

Аналогічний аналіз для такої ж тонни відходів, відправленої на полігон, показано на рис. 5. Викиди від процесу розпаду представлені ліворуч, а також можна побачити, як внесок утворення газу (до уловлювання та окислення), виражений в CO2 екв., охоплює внесок метану та внесок CO2 із невикопних матеріалів. Хоча обсяги утвореного газу подібні, метан⁴⁸ є більш потужним парниковим газом і, відповідно, має значно більшу вагу.

Друга колонка вказує на ступінь уловлювання метану та його спалювання у вигляді факельного газу або для виробництва електроенергії. З неуловленого метану, як припускається, в покритті полігону зазвичай може бути окислено (перетворено на CO2) близько 10% викидів метану.

Як і у випадку зі сміттєспалювальним заводом, електроенергія виробляється, але її обсяги значно нижчі, тому компенсація, пов'язана з уникненням викидів від виробництва електроенергії на вугіллі, невелика. Чиста позиція полігону значно менше визначається компенсацією електроенергії. Набагато важливішим для полігону є рівень уловлювання метану для спалювання⁴⁹. Тим не менш, неконтрольовані викиди метану залишаються, і вони не компенсуються кредитами від виробництва електроенергії, тому чиста позиція полігону – це його вплив на зміну клімату.

⁴⁸ Потенціал глобального потепління метану становить 34 за 100 років (GWP100 = 34).

⁴⁹ Тут ми припускаємо, що в середньому він становить 45%.

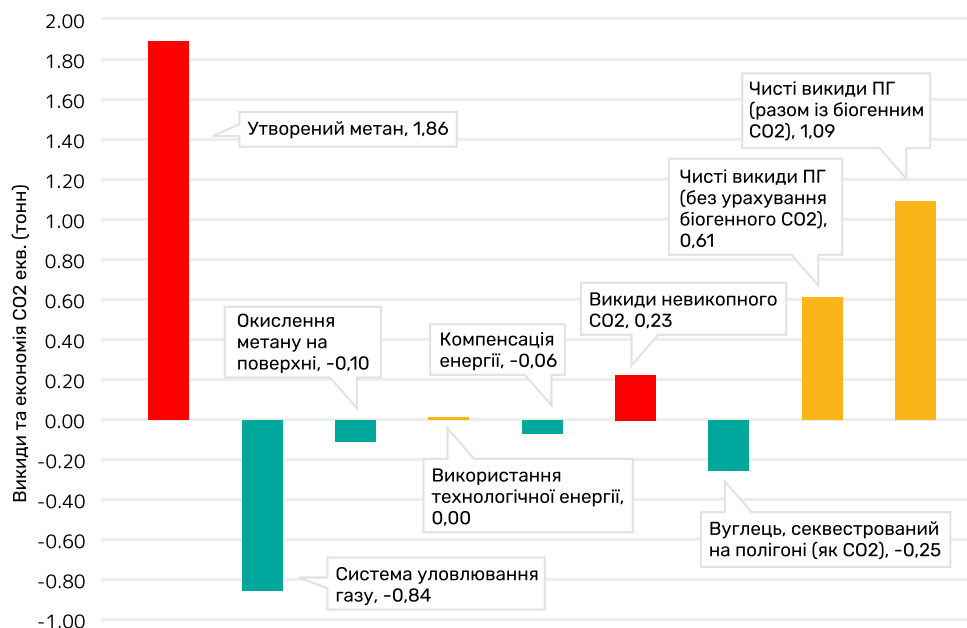


Рисунок 5: Внесок тонни змішаних відходів у викиди ПГ у разі захоронення (джерело електроенергії, яке компенсується = вугілля; GWP100 метану = 34)

Далі на рис. 6 аналіз повторюється для сміттєспалювального заводу в ситуації, коли джерелом електроенергії є не газ. Вуглецевоємність виробництва електроенергії з газу значно нижча, ніж із вугілля. Вплив зниженої вуглецеємності джерела електроенергії, якого вдалося уникнути, полягає у значному зниженні ефективності сміттєспалювального заводу.

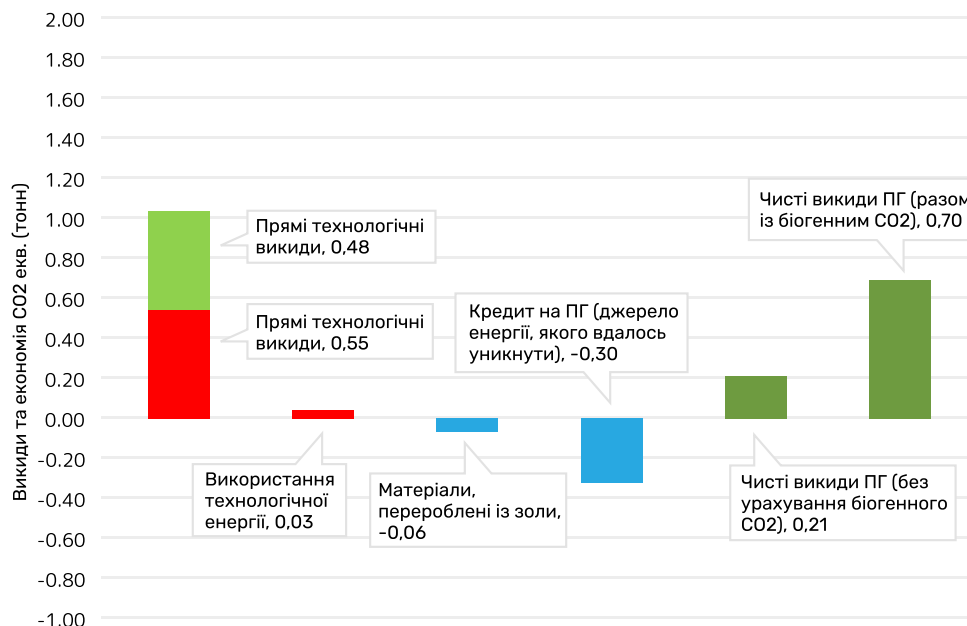


Рисунок 6: Внесок тонни змішаних відходів у викиди ПГ внаслідок спалювання з метою виробництва електроенергії (джерело електроенергії, що компенсується = природний газ)

Нарешті на рис. 7 і рис. 8 ми показуємо випадок, коли для спалювання відходів і для полігону вуглецевоємність у суміші електроенергії, якої вдалося уникнути, нижча, ніж у газу, що еквівалентно суміші газ/відновлювані джерела енергії (або ядерні). Змодельована вуглецевоємність виробництва становила 220 г CO2/кВт-год (середня вуглецевоємність виробництва електроенергії в ЄС у 2017 році,

за даними Європейського агентства з довкілля, становила 294 г CO₂/кВт-год, як порівняти з 531 г CO₂/кВт-год у 1990⁵⁰). Тобто можна очікувати, що цього рівня вуглецевої інтенсивності буде досягнуто в найближчому майбутньому, навіть, цілком імовірно, протягом терміну дії нового сміттєспалювального заводу, якщо ЄС прагне виконати свої наміри щодо зміни клімату (як зазначено в Комюніке «Європейський зелений курс»⁵¹).

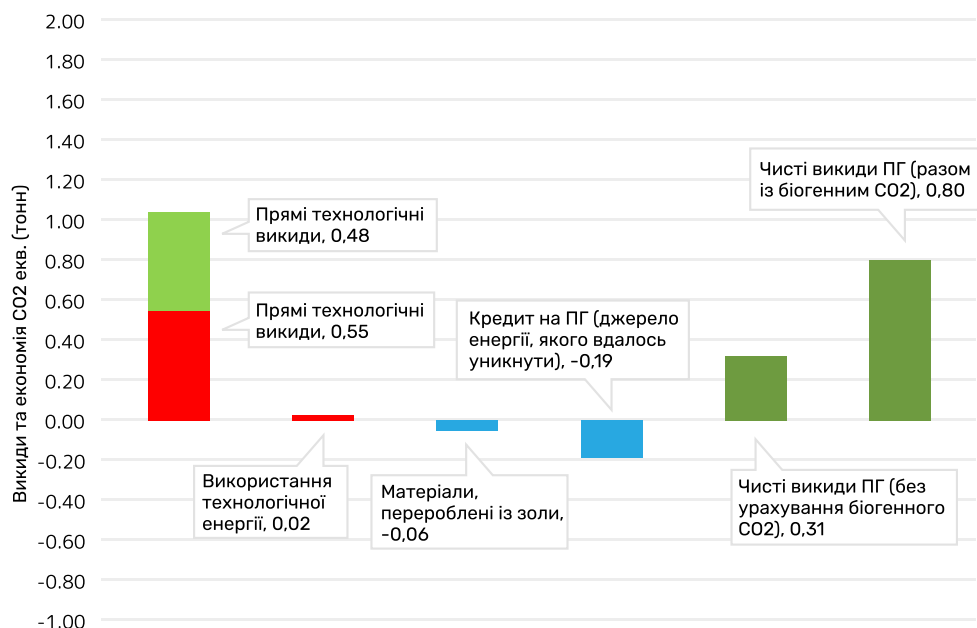


Рисунок 7: Внесок тонни змішаних відходів у викиди ПГ внаслідок спалювання з метою виробництва електроенергії (джерело електроенергії, що компенсується = суміш газ/відновлювані джерела енергії)

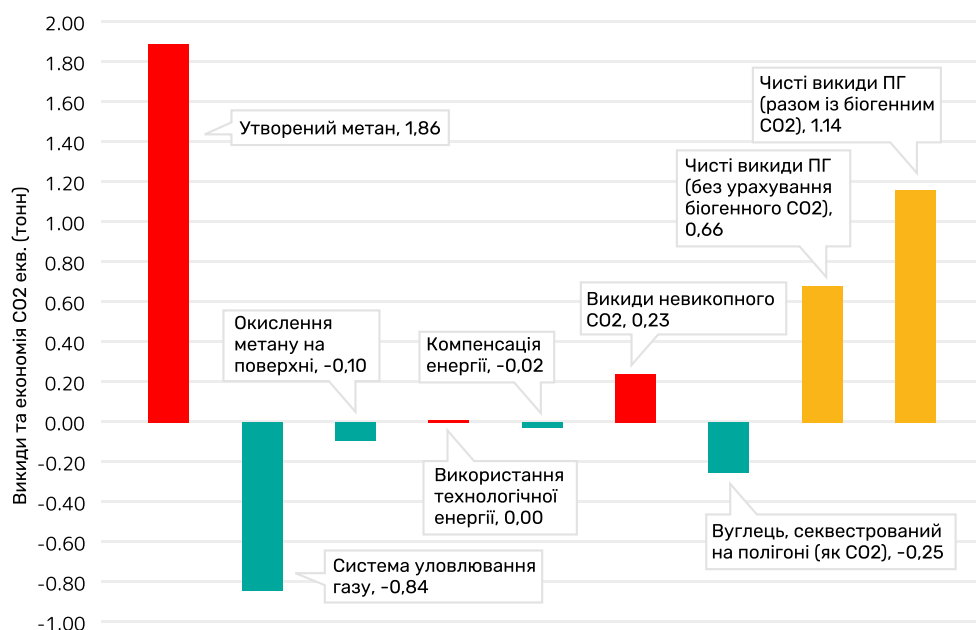


Рисунок 8: Внесок тонни змішаних відходів у викиди ПГ у разі захоронення (джерело електроенергії, яке компенсується = суміш газ/відновлювані джерела енергії)

⁵⁰ www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/co2-intensity-of-electricity-generation

⁵¹ ec.europa.eu/info/publications/communication-european-green-deal_en

Якщо припустити, що декарбонізація виробництва енергії відбуватиметься прогресивно, тоді вища ефективність чи неефективність полігонів, порівняно зі сміттєспалювальними заводами, і момент досягнення ефективності залежать, насамперед, від таких характеристик:

- Склад залишкових відходів (чим вищий вміст викопного вуглецю та чим менший вміст вуглецю, який розкладається на полігоні, тим швидше полігон стає ефективнішим, ніж спалювання);
- Ефективність уловлювання метану, що утворюється на полігоні;
- Ефективність вироблення енергії сміттєспалювальним заводом, коли електроенергія та тепло декарбонізуються з різною швидкістю; характер енергії, виробленої сміттєспалювальним заводом (у формі тепла чи електроенергії — наприклад, якщо тепло декарбонізується повільніше, ніж електроенергія, то для сміттєспалювального заводу буде вигідніше генерувати енергію у вигляді тепла, якщо вона повністю використовується);
- Ефективність захоплення чорних і кольорових металів сміттєспалювальним заводом для вторинного перероблення⁵².

З точки зору покращення ефективності обох систем, зі зростанням декарбонізації енергетичних систем:

1. Зменшення викопного вуглецю в потоці відходів має вирішальне значення для спалювання. Внаслідок повного вилучення викопного вуглецю із сировини для сміттєспалювальних заводів залишаться лише викиди невикопного CO₂.
2. Усунення метану є найбільш критичним для полігонів. Якби полігони мали лише викиди CO₂, їхня ефективність суттєво зросла б⁵³.

Для спалювання відходів, деякі країни врахували ці вимоги та встановили обладнання для сортування змішаних відходів перед сміттєспалювальними заводами⁵⁴. Вони прагнуть вилучити із залишкових відходів пластик, а також метали, папір і картон, щоб потім переробляти ці матеріали. Ефект від таких дій показано на рис. 9. Чисті викиди суттєво зменшуються. Також зменшуються викиди від спалювання. При цьому аналіз передбачає сортування за кольором і гаряче промивання фракцій, щоб уможливити використання пластику в сферах, де первинний пластик витісняється пластиком, сортованим за кольором.

⁵² Втім, позитивний вплив перероблення на зміну клімату може зменшуватись зі зростанням рівня декарбонізації енергетичних систем у майбутньому.

⁵³ Потенціал глобального потепління метану в 34 рази перевищує потенціал глобального потепління CO₂.

⁵⁴ Прикладами є: завод ROAF на околиці Осло та об'єкт у Ставангері.

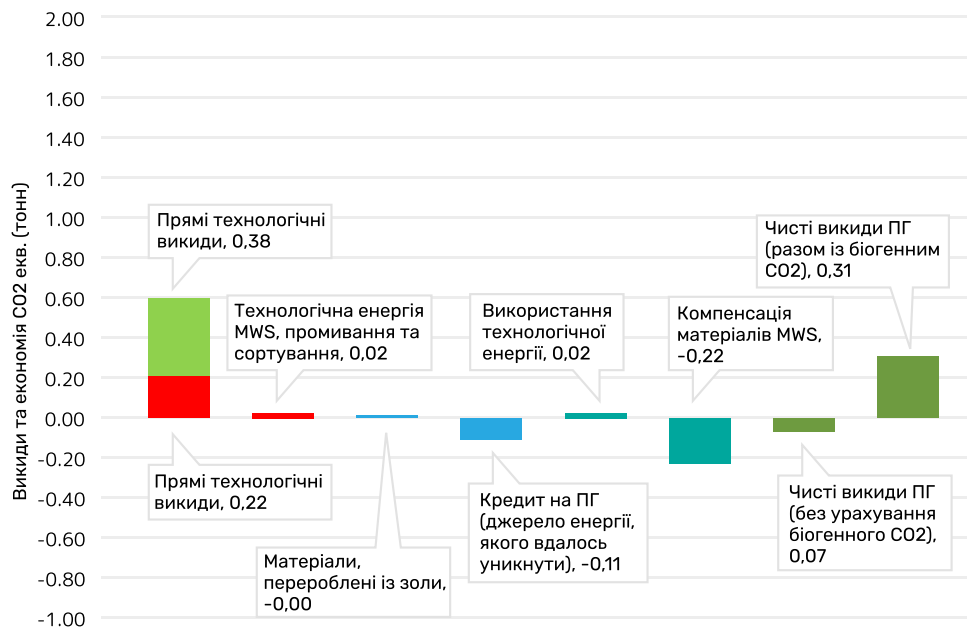


Рисунок 9: Внесок тонни змішаних відходів у викиди ПГ, коли їх сортування здійснюється перед спалюванням з метою виробництва електроенергії (джерело електроенергії, що компенсується = суміш газ/відновлювані джерела енергії)

В принципі, звісно, немає жодних причин, чому те саме не можна було б робити перед видаленням відходів на полігонах. Стосовно останніх, то вигоди від сортування залишкових відходів пов'язані насамперед із вигодами від подальшого відновлення матеріалів для перероблення. Хоча відновлення матеріалів із залишкових відходів має певний вплив на викиди полігонів, залишаються значні викиди від самого захоронення. Результат моделювання показано на рис. 10.

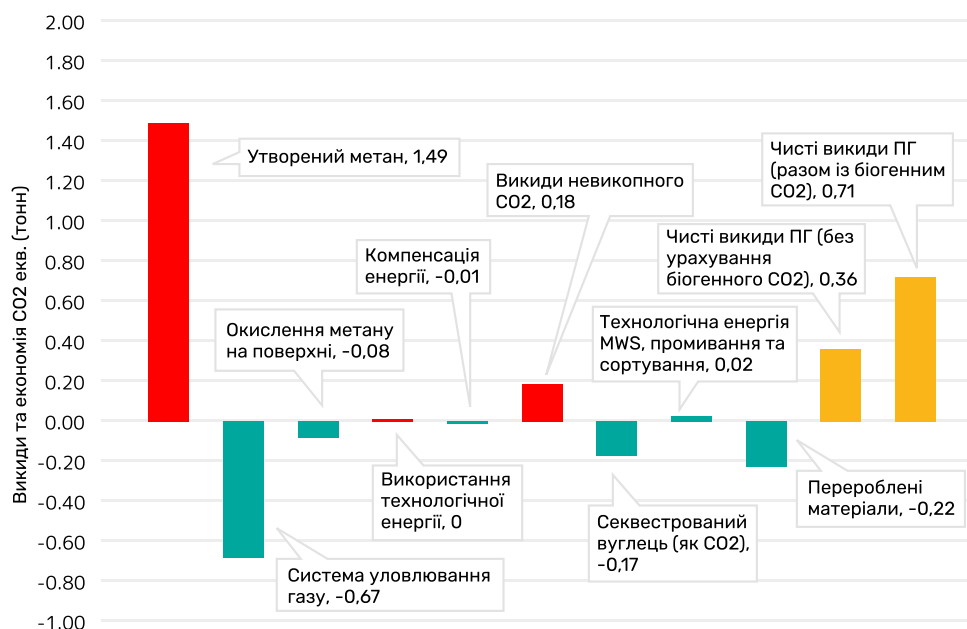


Рисунок 10: Внесок тонни змішаних відходів у викиди ПГ, коли сортування змішаних відходів здійснюється перед їх захороненням (джерело електроенергії, що компенсується = суміш газ/відновлювані джерела енергії)

Втім якщо, **окрім такого сортування залишкових відходів, відходи, які залишилися після сортування, перед захороненням стабілізувати, щоб зменшити ймовірність утворення метану в захоронених відходах**, то, в принципі, це дає змогу зменшити загальні викиди як від перероблення (відновлення матеріалів із залишкових відходів), **так і від стабілізації** (для зменшення викидів метану шляхом стимулювання аеробного розкладання матеріалів, більш схильних до утворення метану в анаеробних умовах на полігоні, перед захороненням). **Це те, на що спрямована система MRBT.** Результат моделювання такої системи показано на рис. 11.

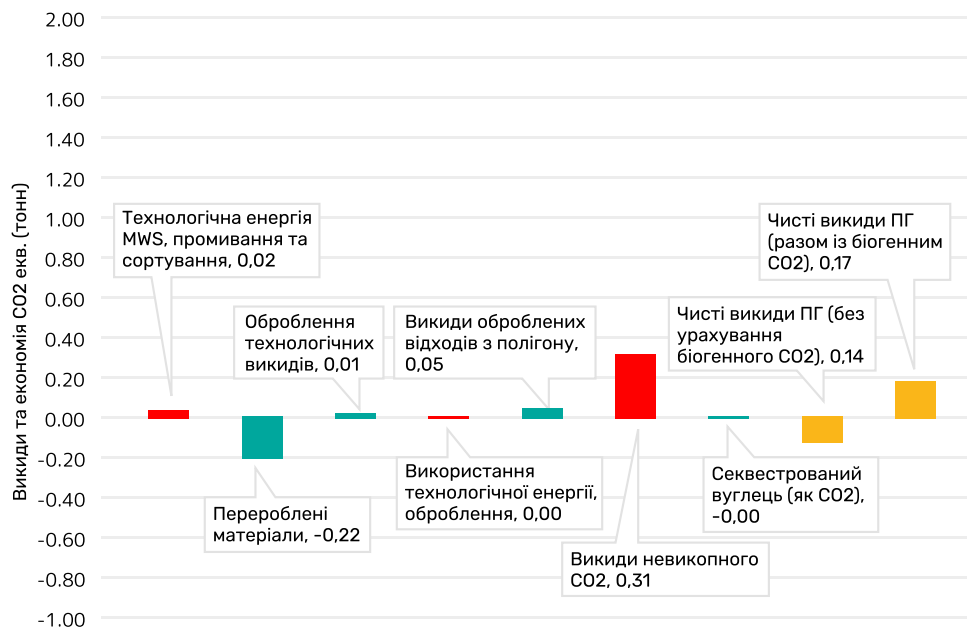


Рисунок 11: Внесок тонни змішаних відходів у викиди ПГ, коли перед захороненням здійснюється сортування змішаних відходів (джерело електроенергії, що компенсується = суміш газ/відновлювані джерела енергії)

Висновки

Загалом декарбонізація енергетичних систем призводить до:

- Зменшення кліматичних переваг виробництва енергії з відходів;
- Зміщення уваги на технологічні викиди, пов'язані з будь-яким обробленням;
- Для наявних сміттєспалювальних заводів, а особливо для будь-яких об'єктів, які зараз розглядаються, — переконливості необхідності встановлення систем сортування змішаних відходів перед такими об'єктами;
- Для наявних полігонів — аналогічно. Поєднання сортування залишкових відходів зі стабілізацією відходів — як спосіб оброблення відходів задля мінімізації утворення метану після їх захоронення — пропонує життєздатний шлях поводження із залишковими відходами в майбутньому;
- Легшої реалізації амбітніших планів перероблення завдяки гнучкості рішень через відносно низькі капітальні витрати на одиницю оброблення відходів, порівняно із ситуаціями, коли капітальні зобов'язання щодо оброблення залишкових відходів підвищують ймовірність «втрат», пов'язаних із неправильним визначенням потужності установки. Крім того, як було розглянуто в основній частині звіту, подібність технологій сортування та біологічної стабілізації до технологій перероблення та компостування з часом робить можливим їх використання для збільшення кількості відходів, придатних для перероблення/компостування, що сортуються біля джерела, як передбачено політикою ЄС щодо відходів.

Підсумковий графік ефективності для варіантів, розглянутих вище, представлено на рис. 12. Слід зазначити, що подальша декарбонізація енергії погіршує загальний результат для всіх варіантів відновлення енергії, тоді як система MRBT не залежить від того, якого джерела енергії вдається уникнути, оскільки вона не виробляє енергію. Найважливішим і останнім зауваженням є те, що **враховуючи декарбонізацію енергетики, яка зараз відбувається, та економію ПГ від аеробного розкладання (що здійснюється перед захороненням) біорозкладаних матеріалів, які входять до складу відходів, MRBT стає найбільш сприятливим для клімату варіантом, незалежно від того, чи розглядається біогенний CO₂, чи ні.**

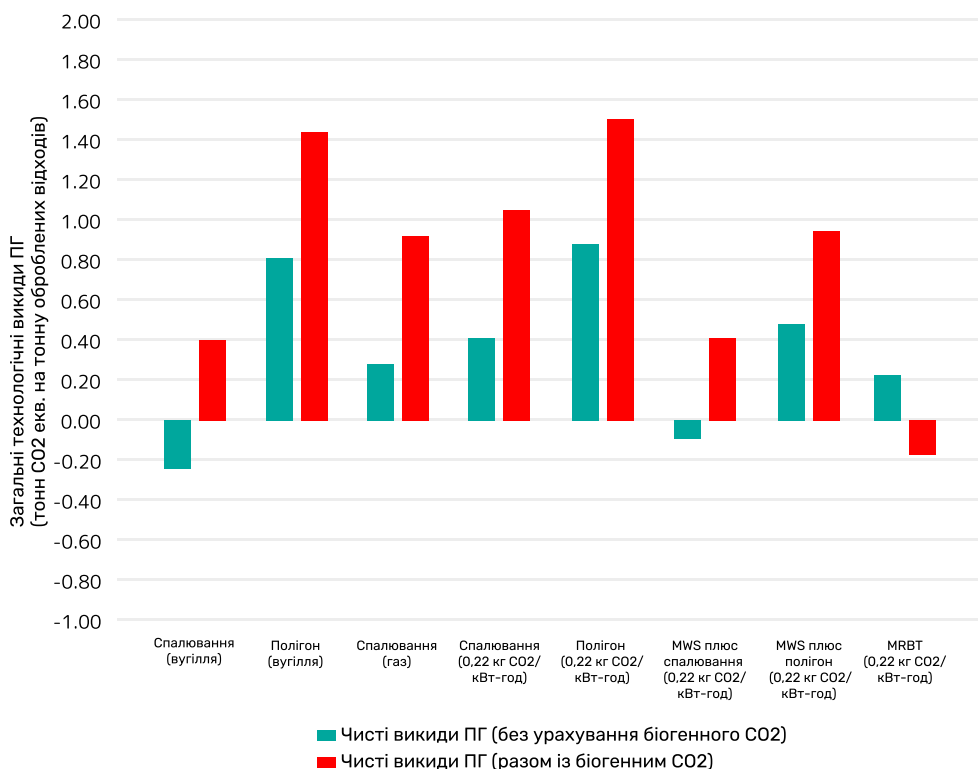


Рисунок 12: Викиди парникових газів від оброблення 1 тонни залишкових відходів за допомогою різних способів оброблення за різної вуглецевої енергії, якої вдається уникнути (0,22 кг CO₂/кВт-год) (MWS = сортування змішаних відходів).