



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union



В рамках проекту Jean Monnet «Продукування та поширення ідей циркулярної економіки відповідно до Плану дій ЄС» № 620966-ERP-1-2020-1-UA-ERPJM0-PROJECT

Біорозкладання як важливий етап управління відходами біопластиків

Дмитро Бідюк,
к.т.н., старший викладач СумНАУ,
директор ТОВ «Фудбіопак»

ZERO WASTE
ACADEMY

Харків, 23 грудня 2020 року



Зміст



1. Загальні відомості щодо біорозкладних матеріалів
2. Світовий ринок та використання біопластиків
3. Технології оброблення біопластиків
4. Біорозкладання
5. Стандартизація та лабораторні випробування
6. Аналіз стандарту AS 5810-2010 щодо домашнього компостування
7. Аналіз стандарту EN 13423-2000 щодо промислового компостування



1. Загальні відомості щодо біорозкладних матеріалів

У 2018 року Європейська комісія опублікувала «Європейську стратегію по пластмасам в круговій економіці».

Мета - зробити європейську систему більш ресурсоефективною і здійснити перехід від лінійної системи до кругової.



Біопластики грають ключову роль в переході до економіки замкнутого циклу:

- можуть замінити викопні на поновлювані ресурси;
- підвищують ефективність використання ресурсів;
- збільшуючи цільові показники переробки і ефективність управління відходами;
- можуть бути перероблені;
- допомагають збільшити роздільний збір органічних відходів і відвести біовідходи зі звалищ

Природні смоли - бурштин та шелак



**3800-літні ложки, зроблені з кісток,
знайдені в Монголії**



«Соевий автомобіль» Генрі Форда, 13 серпня 1941 року

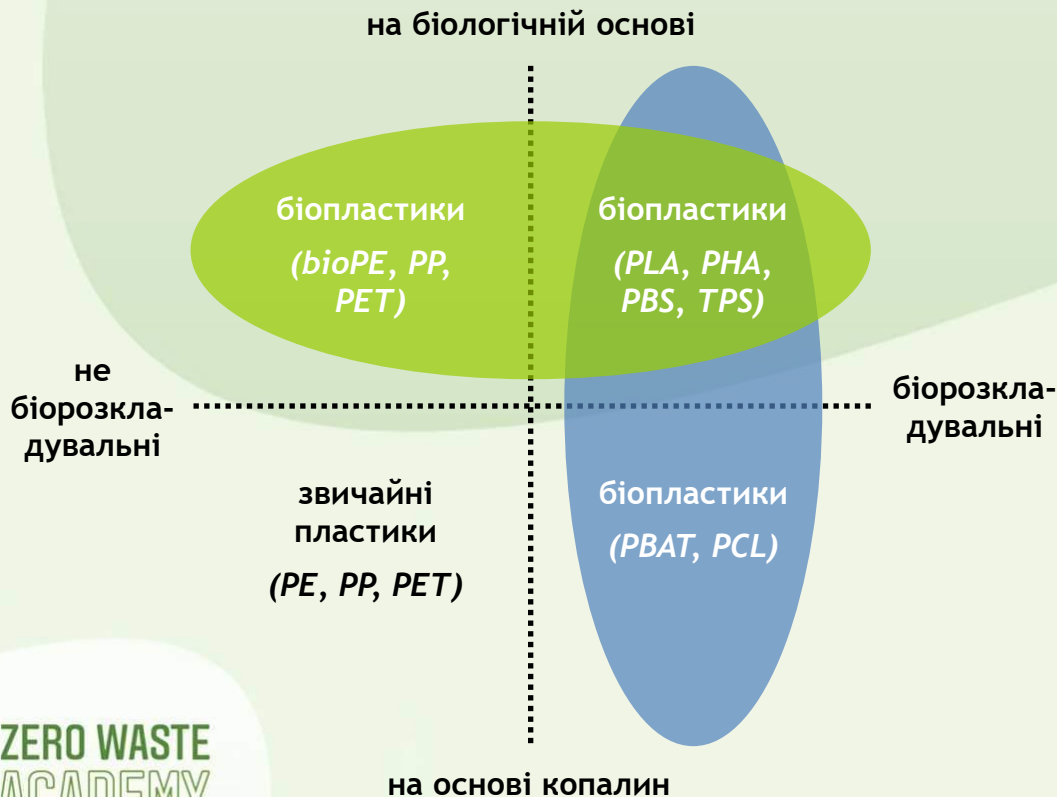


На біологічній основі? Придатні до компостування?





Матеріали



Абревіатура	Назва полімеру	На біологічній основі	Біорозкладний
PE	Поліетилен	+/-	
PP	Поліпропілен	+/-	
PET	Поліетилен-терефталат	+/-	
PLA	Полілактид-на кислота	+	+
PHA	Полігідроксі-алканоати	+	+
PBS	Полібутилен-сукцинат	+	+
TPS	Термопластичний крохмаль	+	+
PBAT	Полібутилен-адіпаттерефталат		+
PCL	Полікапролактон		+

Життєвий та вуглецевий цикл



CO_2
 H_2O

**Вуглецевий
цикл PLA
біопластиків**



Кукурудза



Компост



**Переробка
крохмалю**



**Життєвий
цикл PLA
біопластиків**

Гранули PLA



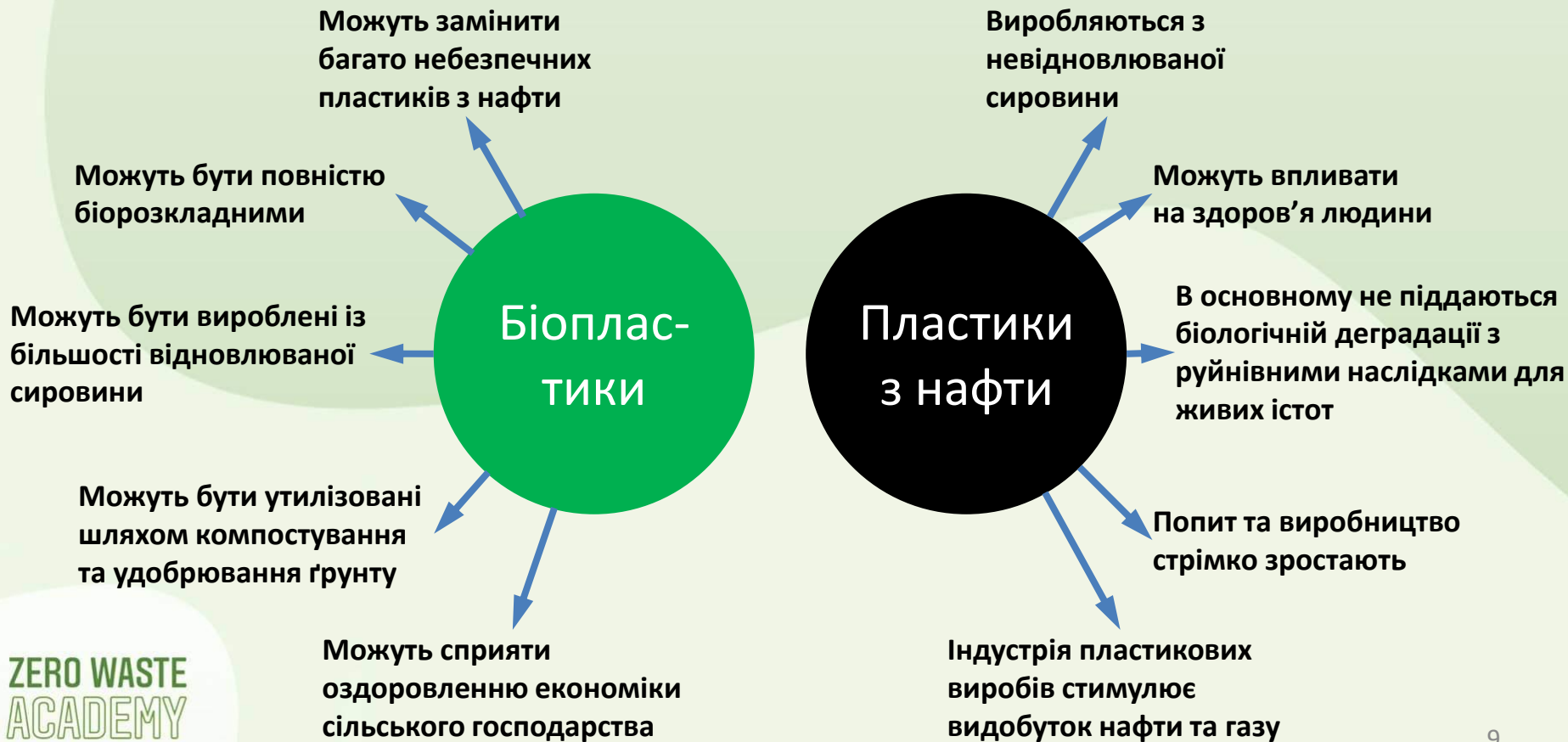
Продукція з PLA



Компостування

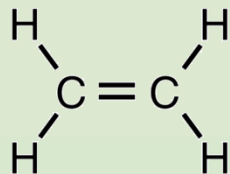


Відмінності

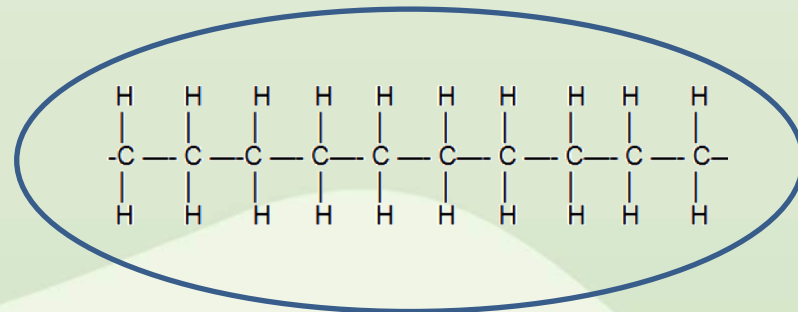


Будова традиційних полімерів

Етилен



Полімеризація



Поліетилен (PE)



Полівінілхлорид (PVC)



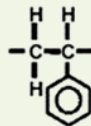
Політетрафторетилен (PTFE)



Поліпропілен (PP)



Полістирол (PS)



HDPE



LDPE



Біорозкладні полімери

Мономерні одиниці

З біомаси

Полісахариди

Крохмалі

Целюлоза

Інші (з водоростей, наземних рослин, ракоподібних)

Глюкоза

Маноза,
галактоза та ін.

Білки

Тваринні

Рослинні

Амінокислоти

Синтезовані мікробіологічно

Полігідроксіалканоати (PHA)

Жирні кислоти

Синтезовані біотехнологічно

Полілактиди (PLA)

Глюкоза

Отримані з нафти

Полікапролактон (PCL)

Полібутіленсукцинат (PBS)

Полібутіленсукцинатадипат (PBSA)

Капролактон

Бурштинова
кислота, адіпінова
кислота, бутандіол

Зовнішній вигляд біопластиків



PHA



PLA



PCL



PBS



TPS



Mater-Bi



Переваги та недоліки біопластиків



Переваги

- зменшення споживання електроенергії, зниження викидів CO₂ (реабсорбція рослинами)
- підвищення ефективності використання ресурсів за рахунок замкнутого циклу
- зниження забруднення довкілля
- екологічний склад, потенційно висока безпечність
- утилізація з іншими органічними відходами
- відновлюваність сировини
- можливість переробки (bio-PE, bio-PP тощо)
- зниження залежності від пластиків з нафти

Недоліки

- висока ціна
- не завжди кращі властивості у порівнянні з пластиками з нафти
- можуть забруднювати довкілля за неправильної утилізації

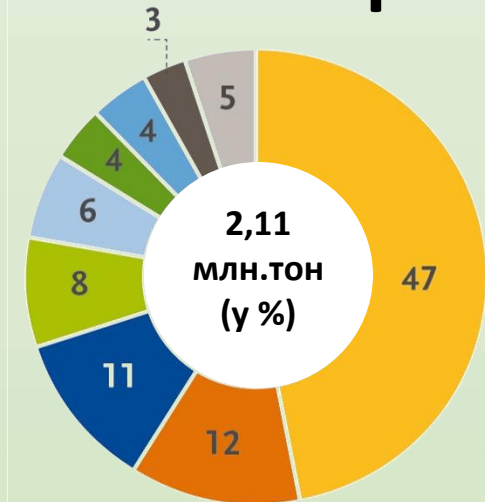


2. Світовий ринок та використання біопластиків

Виробництво біопластиків за регіонами



Використання біопластиків

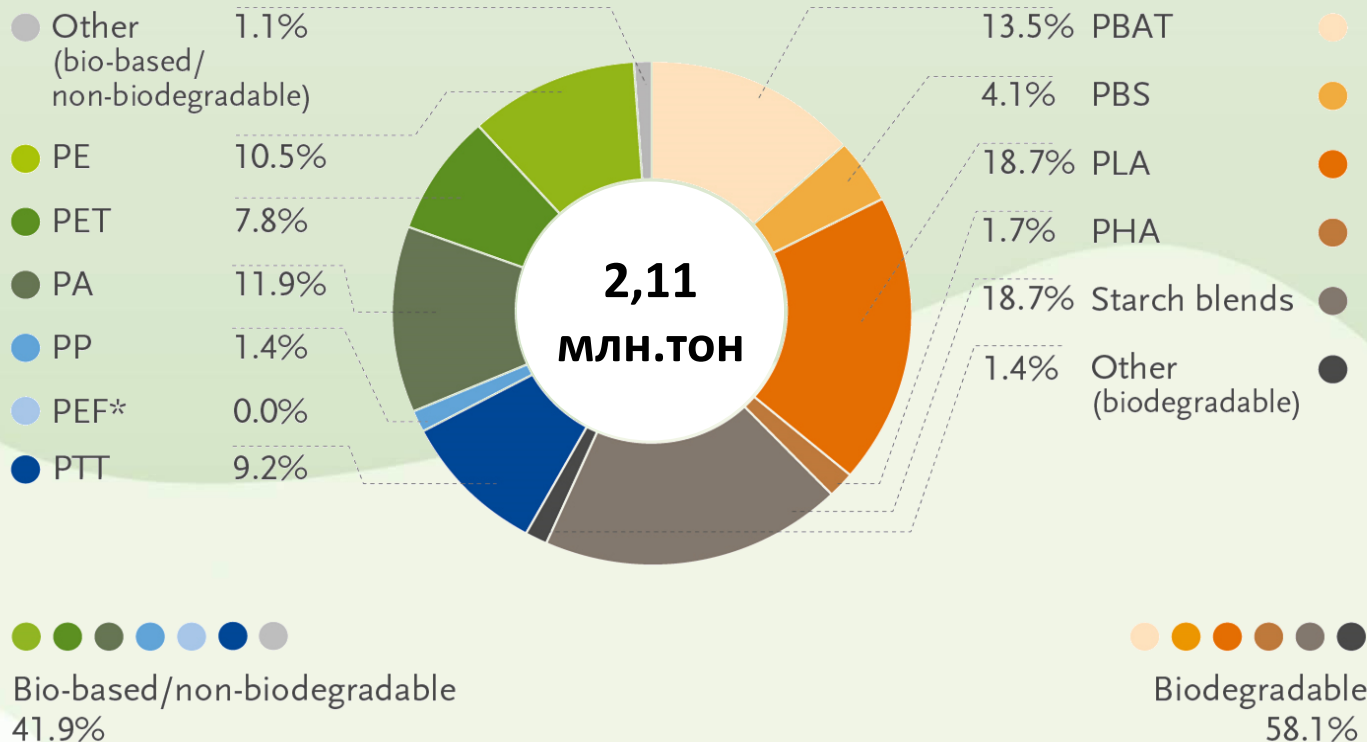


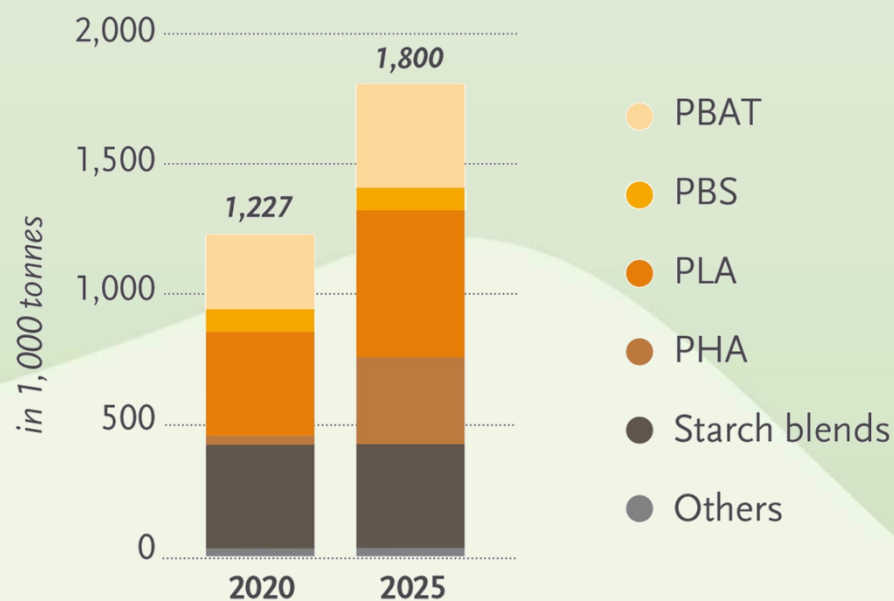
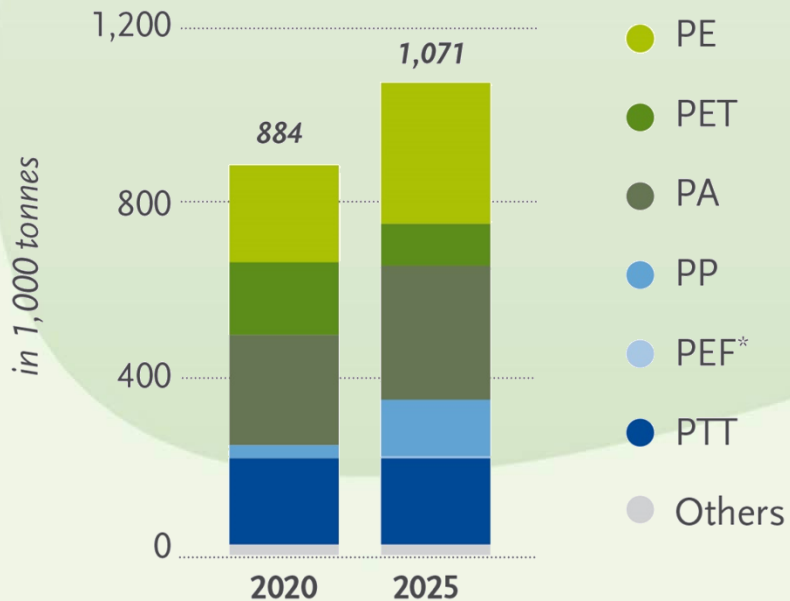
- Пакування (м'яке та жорстке)
- Споживчі товари
- Текстиль
- Сільське господарство та садівництво
- Автомобілі та транспорт
- Покриття та клеї
- Будівництво та будівельні конструкції
- Електрика та електроніка
- Інше





Світове виробництво біопластиків (2020 р.)

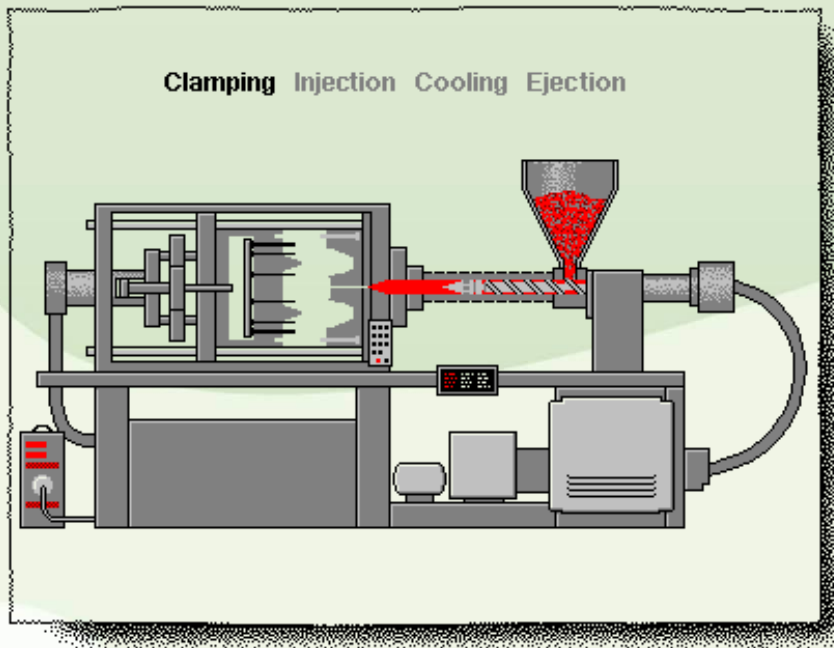






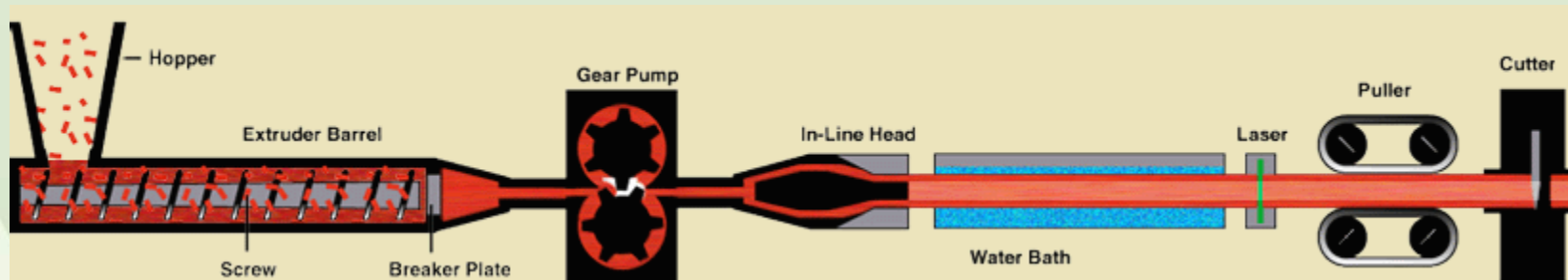
3. Технології оброблення біопластиків

Лиття під тиском

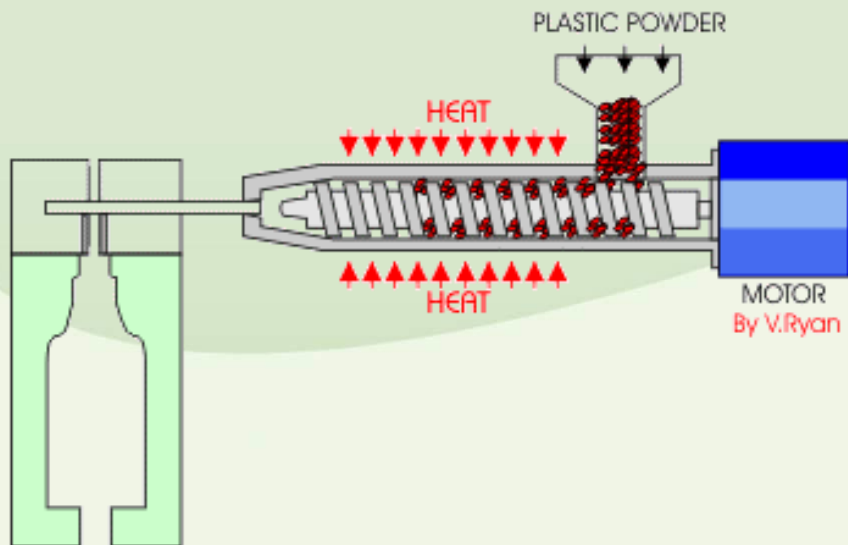


Kaffeeform

Екструзія

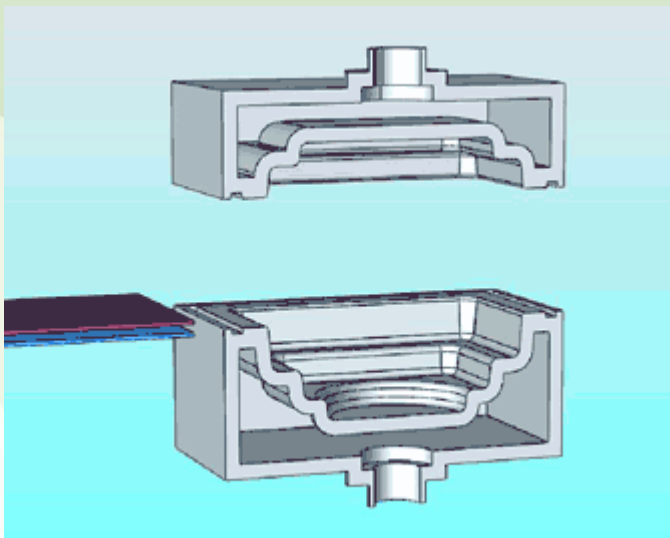
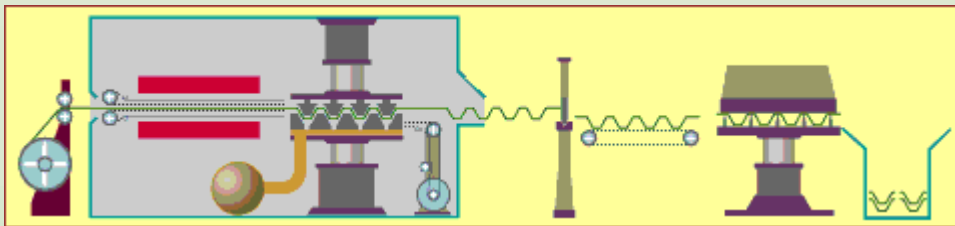


Видувне формовання



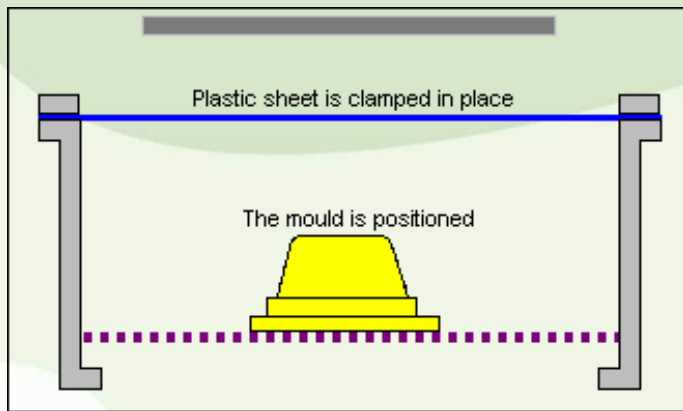
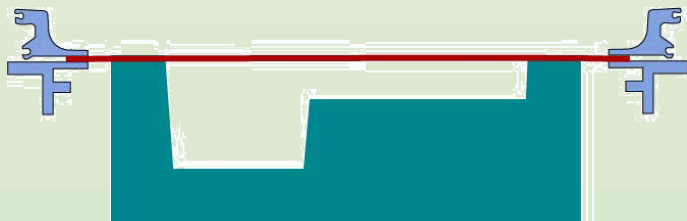
ПЕФ-біопластик

Термоформовання



Vegware

Вакуумне формовання



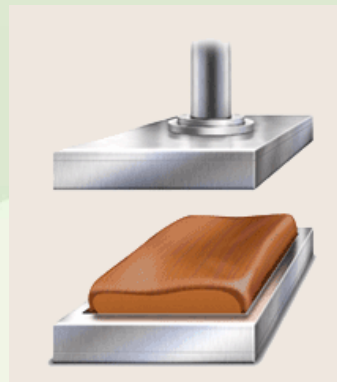
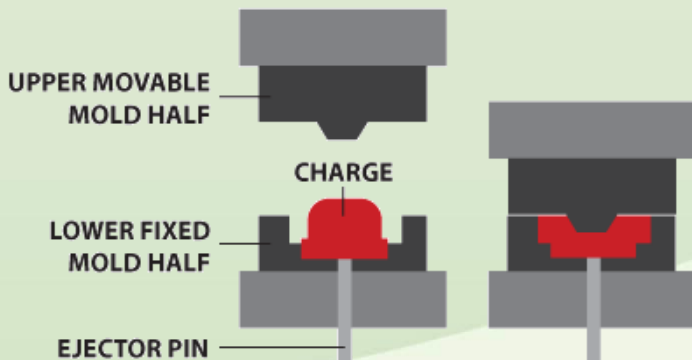
NatureWorks



Основні технології оброблення

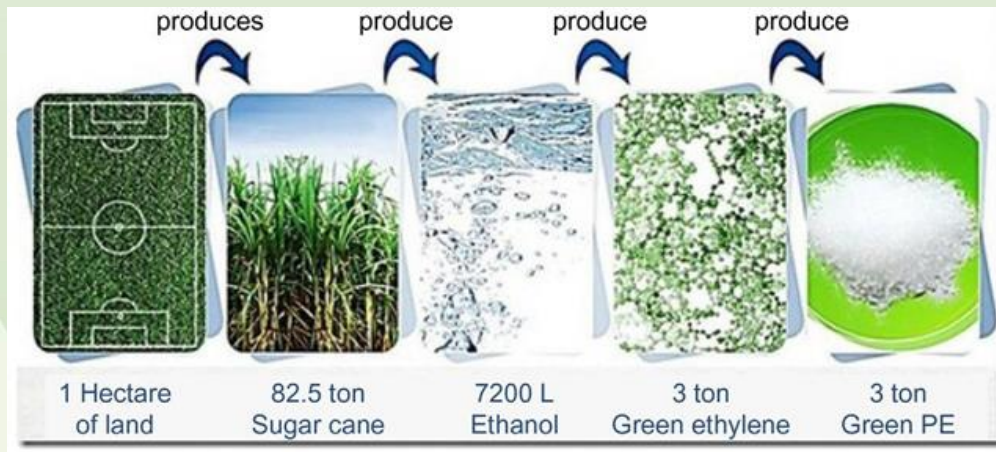


Компресійне формовання





Модель отримання bio-PE від Braskem



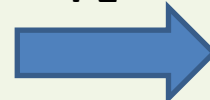
Bio-PE



Викиди CO₂

2,5 т CO₂
на 1 т Bio-PE

PE



3,5 т CO₂
на 1 т PE





4. Біорозкладання

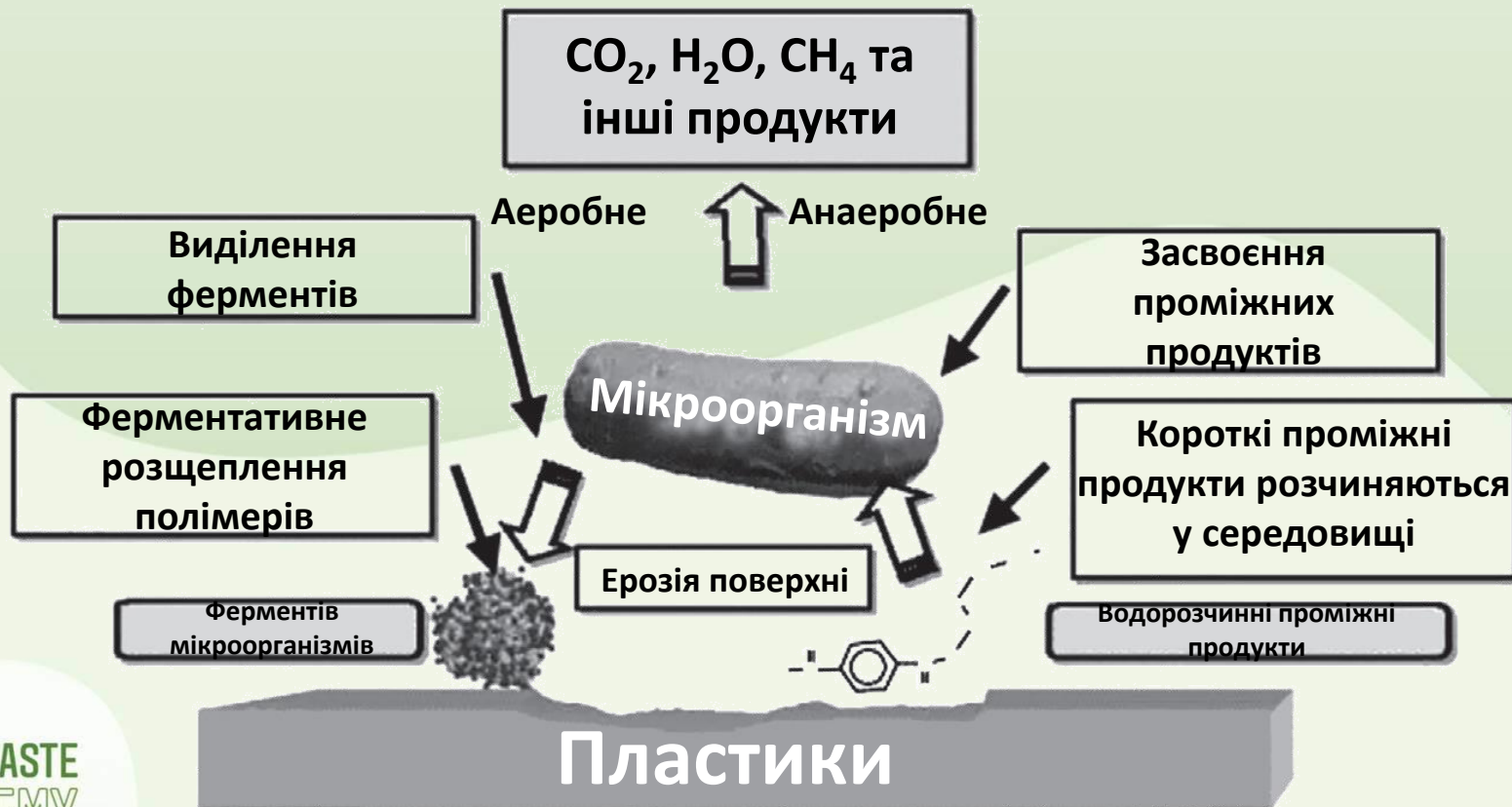
Керування відходами біопластиків

Пластикові продукти
на біологічній основі

Біорозкладувальні та компостовані
пластикові продукти



Загальна схема біорозкладання



Придатний до компостування за умов:

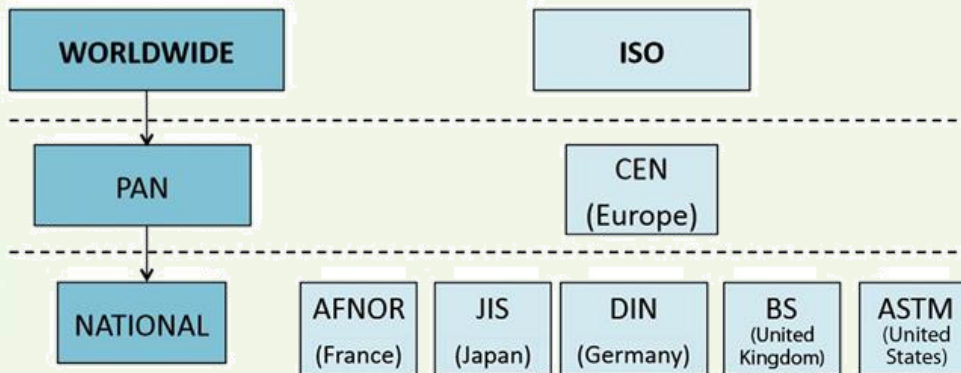
1. Біорозкладність – не менш ніж 90% за 6 місяців
2. Фрагментація матеріалу (не менш 90% з розмірами часток 2 мм)
3. Відсутність негативної дії на процес компостування
4. Висока якість компосту, у т.ч. певний рівень вмісту тяжких металів





5. Стандартизація та лабораторні випробування

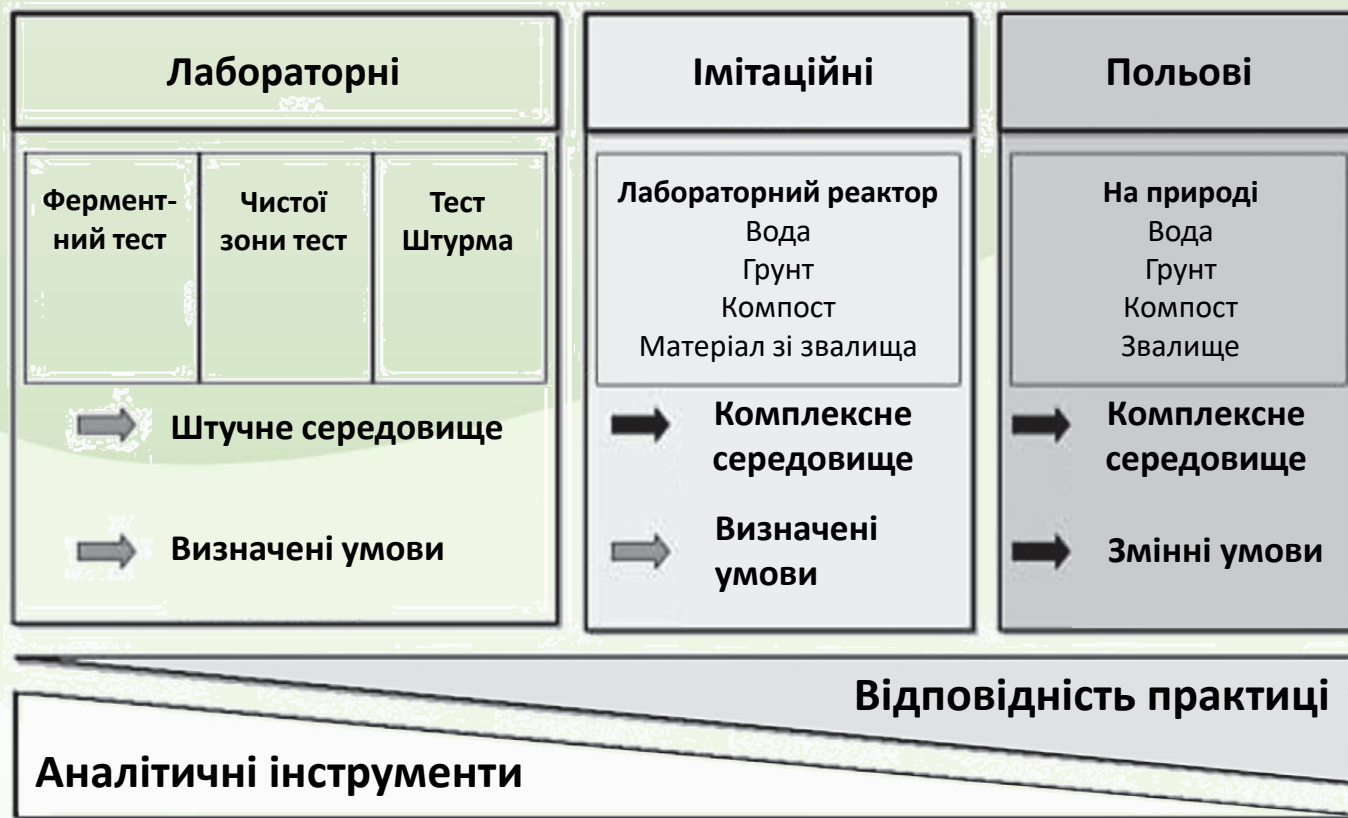
Стандарти	Опис
ISO	Міжнародна організація зі стандартизації (International Organization for Standardization)
CEN	Європейський комітет зі стандартизації (European Committee for Standardization)
AFNOR	Організація французької системи стандартизації (Organization of the French Standardization System)
JIS	Промислові стандарти Японії (Japanese Industrial Standards)
DIN	Німецький інститут стандартизації (Deutsches Institut für Normung (German Institute for Standardization))
BS	Британські стандарти (British Standards)
ASTM	Американське товариство випробувань та матеріалів (American Society for Testing and Materials)



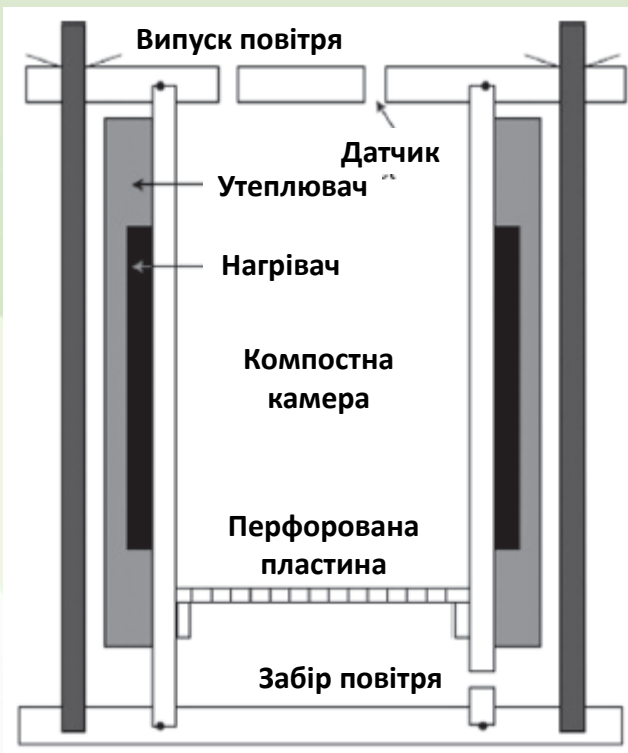
Перелік стандартів

	WORLDWIDE 	EUROPE 	US 	AUSTRALIA 
PLASTICS	ISO 17088	EN 14995	ASTM D6400	AS 4736
PACKAGING	ISO 18606	EN 13432		
PAPER COATING			ASTM D6868	

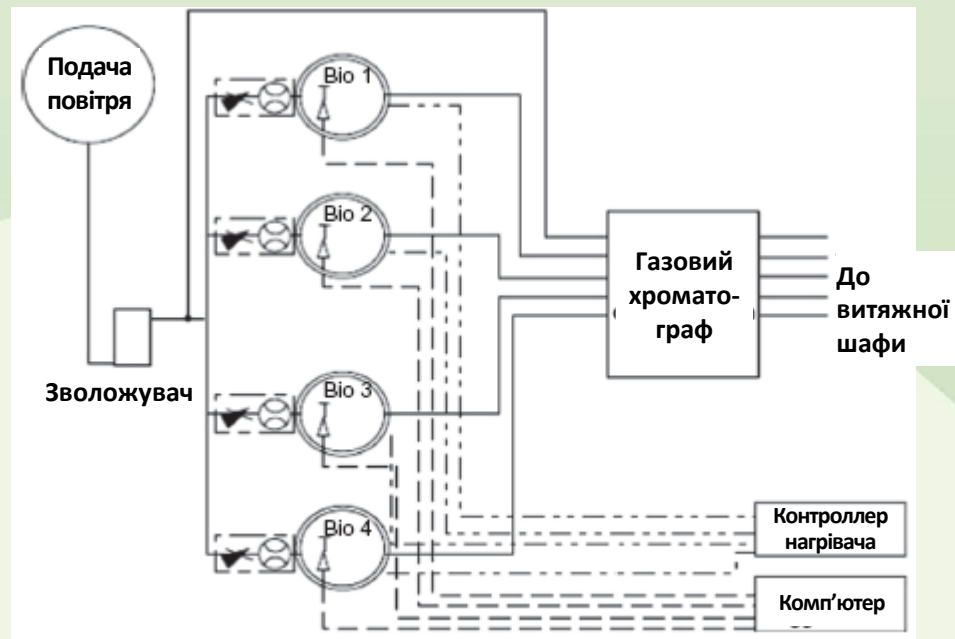
Огляд випробувань на біорозкладність



Лабораторний посуд для компостування



Лабораторна система для компостування

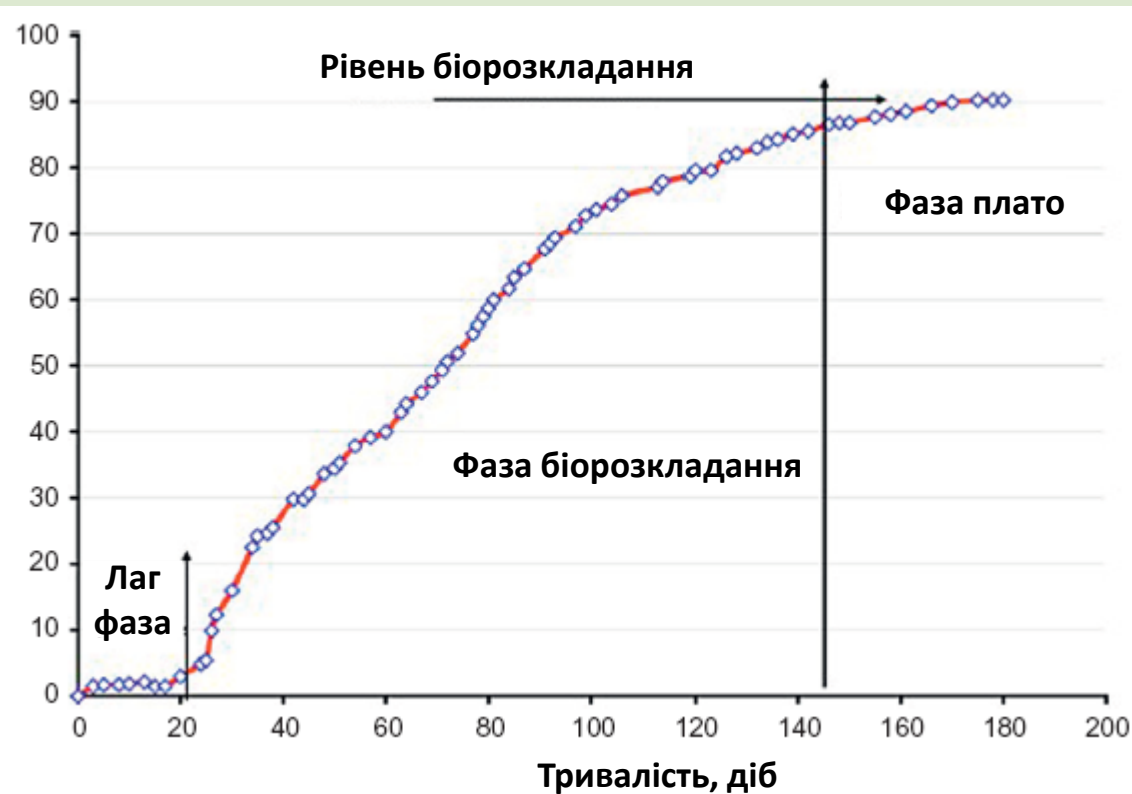
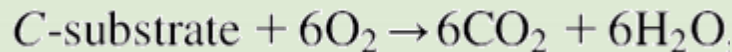




Крива біорозкладання



% конверсії С у CO_2
(% біорозкладання)





Фактори впливу на біорозкладність



1. Умови випробувань
2. Умови компостування
3. Вид біополімеру
4. Стан поверхні біополімеру
5. Структура 1-го порядку (хімічна структура, молекулярна маса, молекулярно-масовий розподіл)
6. Структура 2-го порядку (температура скловання, температура плавлення, кристалічна структура)



6. Аналіз стандарту AS 5810-2010 щодо домашнього компостування



Домашнє компостування



Переваги:

1. Зниження оплати за управління відходами
2. Отримання компосту для потреб власного домогосподарства
3. Практичність та зручність у використанні

Недоліки:

1. Ризик утворення парникових газів
2. Не всі відходи можна компостувати (м'ясо, риба)
3. Як доповнення до промислового компостування, але не заміна його
4. Складно контролювати в реальних умовах
5. Недоступно протягом року

Стандарти:

Австралія

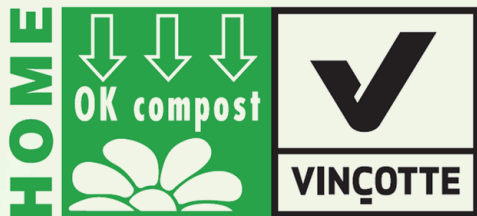
AS 5810-2010 Biodegradable plastics - Biodegradable plastics suitable for home composting (Біорозкладні пластики - Біорозкладні пластики, придатні для домашнього компостування)

Італія

UNI 11183-2006 Plastic materials biodegradable at room temperature – requirements and test methods (Пластикові матеріали, що біологічно розкладаються при кімнатній температурі - вимоги та методи випробувань)

Франція

NF T 51-800:2015-11 Plastics – Specifications for plastics suitable for home composting (Пластики - Технічні умови на пластики, придатні для домашнього компостування)





AS 5810-2010 Біорозкладні пластики, придатні для домашнього компостування

3. Визначення

Компонент - Частина пластикового виробу, яку можна відокремити вручну або за допомогою простих фізичних засобів.

Компостування - Аеробне розкладання органічних речовин з метою отримання компосту.

Складова - Хімічні матеріали і речовини, з яких складається пластик.

Розпад - Фізичне розкладання матеріалу на дуже дрібні фрагменти

Домашній компост - Продукт з органічних відходів домашнього походження, таких як відходи харчових продуктів, садових і паперових продуктів, який був підданий компостування, і який застосовується на ґрунтах приватної власності без будь-яких комерційних операцій.

Домашня система компосту - Система для виробництва домашнього компосту.

Загальна кількість сухих речовин - Кількість твердих речовин, отриманих при сушінні матеріалу при 105-110 ° C до постійної ваги.



AS 5810-2010 Біорозкладні пластики, придатні для домашнього компостування

4. Загальні вимоги та міркування

Еквівалентна форма

Пластик, продемонстрований як «домашній компостований» в певній формі, повинен вважатися придатним для домашнього компостування в будь-який інший формі, що має таке ж або менше відношення маси до поверхні або товщини стінок.

Різні компоненти

У разі пластикового виробу, що складається з різних компонентів, деякі з яких можуть бути компостовані, а деякі інші - ні, сам продукт в цілому не може бути позначений як «для домашнього компостування». Однак, якщо компоненти можна розділити вручну перед утилізацією, компоненти, які можна компостувати, можна ефективно розглядати і обробляти як такі після відділення від компонентів, що не компостуються.

Умови перед початком процесу домашнього компостування

Перед випуском на ринок пластика, призначеного для введення в домашню систему компосту, слід врахувати наступне:

- (А) Виконання критеріїв якості для вихідного матеріалу не обов'язково призведе до виробництва якісного компосту.
- (В) Вміст придатного до компостування пластикового контейнера, що залишається в пластиковому контейнері по частинах або цілком після нормального використання, має бути придатним до компостування в домашніх умовах і не повинно бути токсичним або небезпечним.



AS 5810-2010 Біорозкладні пластики, придатні для домашнього компостування

5. Оцінка

Пластиковий продукт або пластиковий компонент може бути позначений як «для домашнього компостування» тільки в тому випадку, якщо дотримані всі критерії, викладені в даному пункті.

Оцінка пластмас повинна включати наступні чотири процедури: (а) **Характеристика**, (б) **Біорозкладність**, (с) **Розпад**, (д) **Якість компосту**

5.1 Характеристика

Перед випробуванням кожен досліджуваний пластик повинен бути ідентифікований і охарактеризований наступним чином:

- (А) Інформація та ідентифікація кожного компонента пластика (наприклад, товщина) повинні бути визначені або отримані і зареєстровані.
- (В) Вміст летких твердих частинок в пластиці має бути визначено і зареєстровано. Пластик повинен містити не менше 50% летючих твердих частинок.
- (С) Присутність важких металів та інших токсичних і небезпечних речовин має визначатися і реєструватися.
- (D) Зміст органічного вуглецю і загальна кількість сухих твердих речовин в пластиці повинні бути визначені і зареєстровані.
- (Е) Товщина пластмаси повинна бути визначена і зареєстрована.
- (F) Кольорові складові пластмаси повинні бути визначені і зареєстровані.



AS 5810-2010 Біорозкладні пластики, придатні для домашнього компостування

Максимально допустимий вміст елементів у пластику

Елемент	Максимально допустимий вміст, мг/кг
Zn	150
Cu	50
Ni	25
Cd	0,5
Pb	50
Hg	0,5
Cr	50
Mo	1
Se	0,75
As	5
F	100



AS 5810-2010 Біорозкладні пластики, придатні для домашнього компостування

5.2 Біорозкладність

Здатність до біологічного розкладання повинна визначатися для всіх органічних компонентів пластика в цілому, включаючи барвники, чорнила та фарби.

Аеробна біорозкладність

Критерії

Перед випробуванням зразки для випробувань не повинні піддаватися умовам, що прискорюють біорозклад.

Максимальний термін цього випробування становить 12 місяців.

Зразок для випробувань повинен розкладатися не менше 90% за вагою (суха вага) в цілому або рівним максимальному розкладанню відповідного стандартного речовини. Максимальний відсоток біорозкладності еталонної речовини повинен бути отриманий тільки після досягнення плато в швидкості біорозкладання.

Кінцева аеробна біорозкладність повинна визначатися для всього матеріалу або для кожного органічного компонента, який присутній в матеріалі в концентрації більше 1% (по сухій масі). Компоненти, присутні в концентраціях менше 1%, не повинні демонструвати біорозкладність. Однак сума таких складових не повинна перевищувати 5%.

Метод випробувань

В якості стандартного методу випробувань слід використовувати стандарт AS ISO 14855, ISO 14851 або AS ISO 14852. Протягом усього випробування температура повинна підтримуватися на рівні 25 ± 5 ° C.



AS 5810-2010 Біорозкладні пластики, придатні для домашнього компостування

5.3 Розпад

При випробуванні готових виробів дослідження повинні проводитися, починаючи з виробів і продуктів в тій формі, в якій вони призначені для використання. Для продуктів і матеріалів, які зроблені з різною товщиною або щільністю, таких як плівки, контейнери і піна, необхідно вибрати тільки самі товсті або найщільніші продукти і матеріали, за умови, що хімічний склад і структура в іншому залишаються незмінними.

Має бути продемонстровано, що достатня дезінтеграція досліджуваного матеріалу досягається протягом 180 днів.

При проведенні випробувань на екотоксичність важливо використовувати компост з випробувань на дезінтеграцію, які проводилися з досліджуваним матеріалом і без нього, для безпосереднього порівняння результатів випробувань і виявлення будь-яких відносних екотоксичних ефектів.

Критерії

При випробуванні вважається, що пластиковий продукт продемонстрував задовільну дезінтеграцію, якщо після 180 днів контрольованого випробування на компостування не більше 10% мас. / мас. (суха маса) вихідна суха маса досліджуваного матеріалу не проходить через сито фракції 2 мм. Будь-які залишки пластику не повинні відрізнятися від іншого матеріалу в компості на відстані 500 мм при спостереженні неозброєним оком.

Метод випробувань

(А) Температура випробувальної середовища повинна складати $25 \pm 5^\circ \text{C}$.

(В) Тривалість випробування становить 180 днів.



AS 5810-2010 Біорозкладні пластики, придатні для домашнього компостування

5.4 Якість компосту

Оскільки на якість компосту може впливати будь-який доданий пластик, необхідно проводити оцінку та порівняння можливого екологічного ризику компосту, виробленого з пластиком і без нього.

Негативний ефект

Критерії

На якість компосту, отриманого в ході даного процесу обробки контрольних відходів, не повинно негативно впливати додавання тестованого пластика.

Метод випробувань

Мають бути виміряні наступні параметри: (а) Питома вага (щільність), (b) Загальна кількість сухих речовин, (с) Летючі тверді речовини, (d) Вміст солі, (e) значення рН, (f) Присутність загального азоту, амонійного азоту, фосфору, магнію і калію.

Екотоксичність

Будь-токсичний ефект біорозкладних метаболітів пластика може негативно позначитися на проростанні рослин, зростанні рослин і дощових черв'яків. Отже, необхідно оцінити будь-яку таку дію на ці види через наявність залишків пластику і метаболітів.

Критерії

Швидкість проростання і біомаса рослин зразків компосту обох видів рослин повинні бути більше 90% від показників відповідного холостого компосту.

Екотоксичний вплив на черв'яків має визначатися як різниця в захворюваності або середньої масі тих черв'яків, що вижили, між обробленим компостом і контролем, різниця в результатах не повинна перевищувати 10%.



7. Аналіз стандарту EN 13423-2000 щодо промислового компостування



Промислове компостування



Типова сировина для промислового компостування

Опис	Примітка
Відходи домашніх кухонь і та закладів ресторанного господарства (харчові відходи)	З приватних будинків, ресторанів, їдалень, барів, кав'ярень, лікарень, шкільних їдалень тощо
Відходи від громадських ринків	Лише біорозкладні матеріали
Садіві та паркові відходи (дворові відходи)	З приватних садів, громадських парків і територій тощо
Деревні відходи	Ті, що не містять небезпечних речовин, окрім меблів та великогабаритних побутових відходів



Промислове компостування



Процес

Це контрольований процес, який можна розділити на дві окремі фази: активне компостування і подальше дозрівання.

Фаза активного компостування - не менше ніж 21 день.

У цих умовах мікроорганізми ростуть на органічних відходах, розщеплюючи їх на CO_2 і воду. Коли температура компостної купи збільшується ($50-60^\circ\text{C}$), мезофіли змінюються на термофілів.

З метою гігієни температура повинна залишатися вище 60°C протягом як мінімум одного тижня, щоб знищити патогенні мікроорганізми.

Фаза дозрівання - швидкість розкладання знижується, температура падає до менш ніж 40°C

Технологія

Заводи промислового компостування - це великі професійні підприємства, що працюють зі значними обсягами органічних відходів. Вони забезпечують оптимальні умови процесу, швидке розкладання, хороший контроль викидів і гарну якість компосту.

Важливими параметрами процесу, які контролюються на промислових підприємствах, є: (a) структура матеріалу (розмір часток), (b) вміст вологи, (c) аерація (доступність кисню), (d) температура, (e) pH, (f) співвідношення вуглець / азот.



Промислове компостування



Стандарти

EN 13432-2000 Packaging. Requirements for packaging recoverable through composting and biodegradation. Test scheme and evaluation criteria for the final acceptance of packaging
ДСТУ EN 13432:2015 Упаковка. Вимоги до упаковки, утилізованої способом компостування і біодеградації. Тестові схеми та критерії оцінювання для остаточного прийняття упаковки

EN 14995: 2006 Plastics. Evaluation of compostability. Test scheme and specifications
ДСТУ EN 14995:2018 Пластмаси. Оцінювання здатності до біохімічного розпаду. Порядок випробування та технічні умови

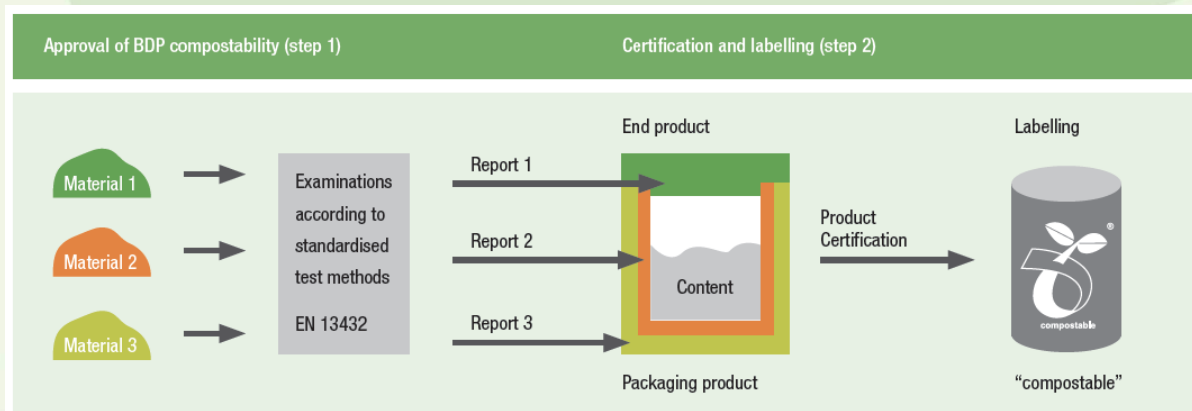
ISO 17088:2012 Specifications for compostable plastics (Технічні вимоги до пластикам, що компостуються)

ASTM D 6400-04 Standard Specification for Compostable Plastics (Стандартні технічні вимоги до пластиків, що компостуються)

BNQ - 9011-911/2007 Compostable Plastic Bags - Certification Program (Пластикові пакети, що компостуються. Програма сертифікації)

Сертифікація та маркування

- 1) Матеріал або продукт має бути сертифікований органом по сертифікації.
- 2) Сертифікація пов'язує стандарт тестування EN 13432 / EN 14995 із захищеним знаком якості, який дозволяє ідентифікувати і правильно поводитися з придатними до компостування пластиковими продуктами



2 етапу сертифікації:

1. Випробування для перевірки придатності до компостування (EN 13432 / EN 14995) проводяться акредитованими випробувальними лабораторіями;
- 2) Подача результатів випробувань і відповідної документації в орган по сертифікації.



Промислове компостування



**Органи по
сертифікації,
стандарти та
логотипи**

Certification Body	Reference Standard	Logo
DIN Certco (Germany)	EN 13432:2000	
AFOR (UK)	EN 13432:2000	
Keurmerkinstituut (Netherlands)	EN 13432:2000	
COBRO (Poland)	EN 13432:2000	
ABA (Australia)	EN 13432:2000	
Vincotte (Belgium)	EN 13432:2000	
Jätelaito-syhdistys (Finland)	EN 13432:2000	
Certiquality / CIC (Italy)	EN 13432:2000	
Avfall Norge (Norway)	EN 13432:2000	
BPI (USA)	ASTM D 6400-04	
BNQ (Canada)	BNQ 9011-911/2007	
JBPA (Japan)	Green Pla identification system	

Промислове компостування

Специфічні моменти та проблеми

1) Товщина



< 1 мм

Гарантовано



1 мм

Гарантовано



> 1 мм

Не гарантовано

2) Проблема якості компосту

Дві основні схеми:

- 1) Контроль забруднюючих матеріалів на виході
- 2) Контроль забруднюючих речовин на вході (додаткова ручне сортування, заміна небіорозкладного пластику на біорозкладаний)

3) Використання компосту

- 1) Після активної фази
- 2) Після дозрівання



Промислове компостування



Переваги і проблеми

Переваги

- активізація участі в схемах збору біологічних відходів
- зниження забруднення органічних відходів пластиками, що не компостуються, підвищення якості компосту.
- зниження потреби в системах контролю на заводах з виробництва компосту (зменшення фінансових ресурсів)
- альтернативний варіант утилізації продуктів, які важко переробляти через забруднення органічними відходами (посуд для громадського харчування) або переробка яких утруднена (пакування з різних матеріалів).
- більш низькі збори за компостування в порівнянні з заховуванням або спалюванням.
- технічні переваги: більш збалансоване співвідношення вуглецю та азоту в біологічних відходах за рахунок компостируемой біопластика.

Проблеми

- небезпека збільшення рівня забруднення біологічних відходів при використанні придатних до компостування матеріалів
- виключення з системи компостування продуктів, що можуть компостуватися, через плутанину під час механічного сортування
- відсутність однаковості між системами управління відходами на місцевому та національному рівнях перешкоджає розробці загальної політики і / або законодавства, які могли б сприяти використанню сертифікованих біопластиків.
- необхідність подальшого розвитку інфраструктури промислового компостування в багатьох країнах.



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union



Дякую за увагу!

Проект Jean Monet «Продуктування та поширення ідей циркулярної економіки відповідно до Плану дій ЄС» № 620966-EPP-1-2020-1-UA-EPPJMO-PROJECT

ZERO WASTE
ACADEMY

Сайт проекту: <https://jm.snau.edu.ua/>