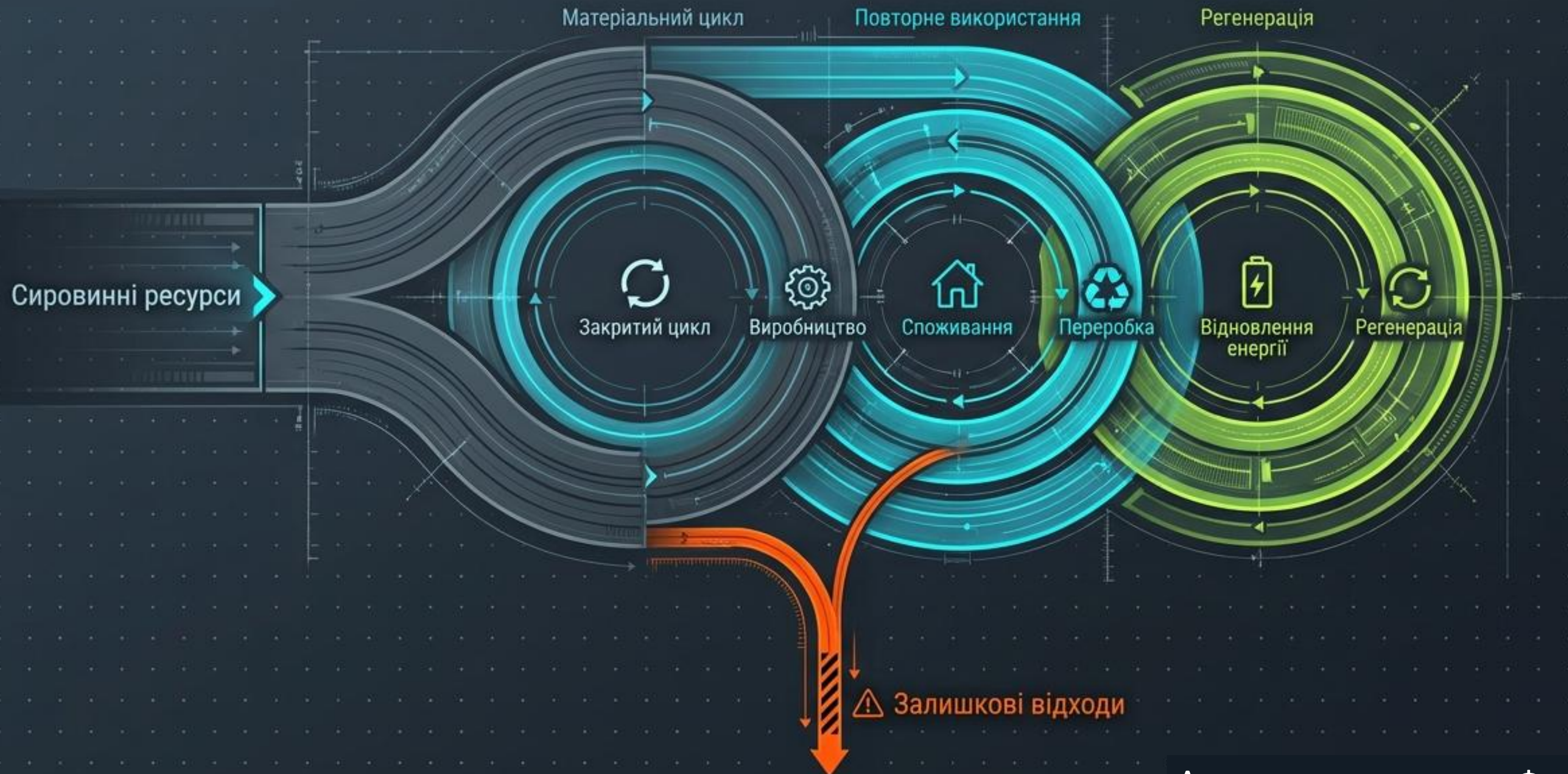


Циркулярна економіка та інтегроване управління матеріальними потоками

Лекція 6.

Системний підхід до метаболізму техносфери для магістрантів-екологів



Автор: к.вет.н., доцент Фещенко Д.В.

«Де втрачається найбільша цінність?»

Від лінійного споживання до збереження цінності



Відносне / Абсолютне розв'язання (Decoupling)

Відрив економічного зростання від споживання ресурсів. Абсолютне розв'язання: зростання ВВП при зменшенні використання матеріалів.

Приклад:

- Цифрові сервіси замість фізичних носіїв дозволяють генерувати прибуток без видобутку нових металів.



Ресурсоефективність (Resource efficiency)

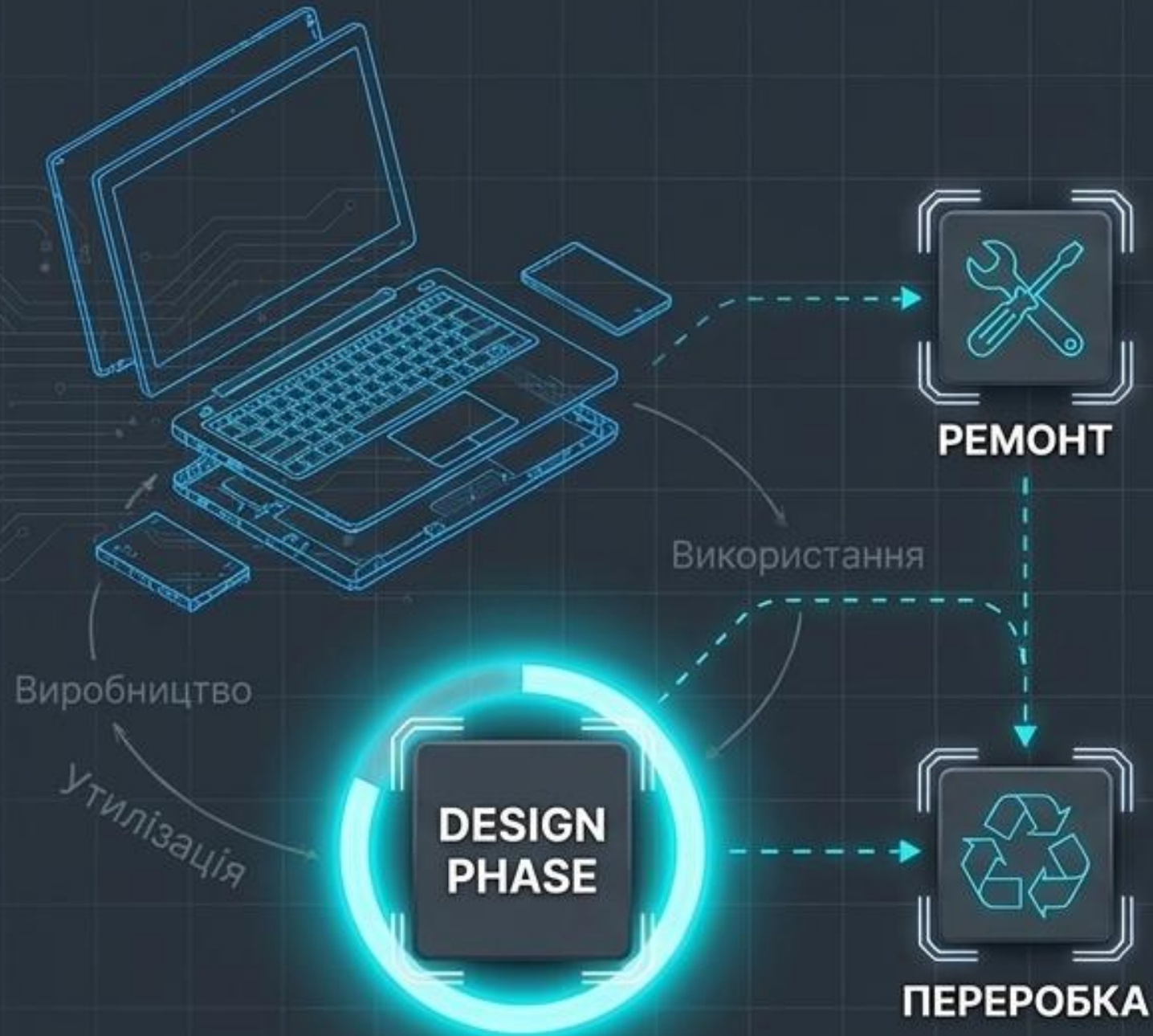
Досягнення вищих результатів при менших витратах ресурсів на одиницю продукції.

Приклад:

- Перехід на LED-освітлення скоротив енергоспоживання на 80% за того ж рівня освітленості.

«Що краще — repair чи recycling?»

Джерело впливу лежить в екодизайні



**80% екологічного впливу
визначається тут**



Мислення життєвого циклу (Life-cycle thinking)

Аналіз впливів продукту від видобутку сировини до кінцевої утилізації.

Приклад:

Оцінка того, чи енергія, витрачена на переробку скляної пляшки, не перевищує енергію на її миття та повторне використання.



Екодизайн (Eco-design)

Інтеграція екологічних критеріїв на етапі проектування для мінімізації впливу.

Кейс:

Модульна електроніка (Fairphone). Завдяки екодизайну, ремонт (repair) вимагає мінімальних витрат енергії, тоді як переробка (recycling) призвела б до величезних енерговитрат на переплавку.

Ієрархія збереження цінності: Від уникнення до утилізації (The R-Ladder Matrix)



«Де провести system boundary?»

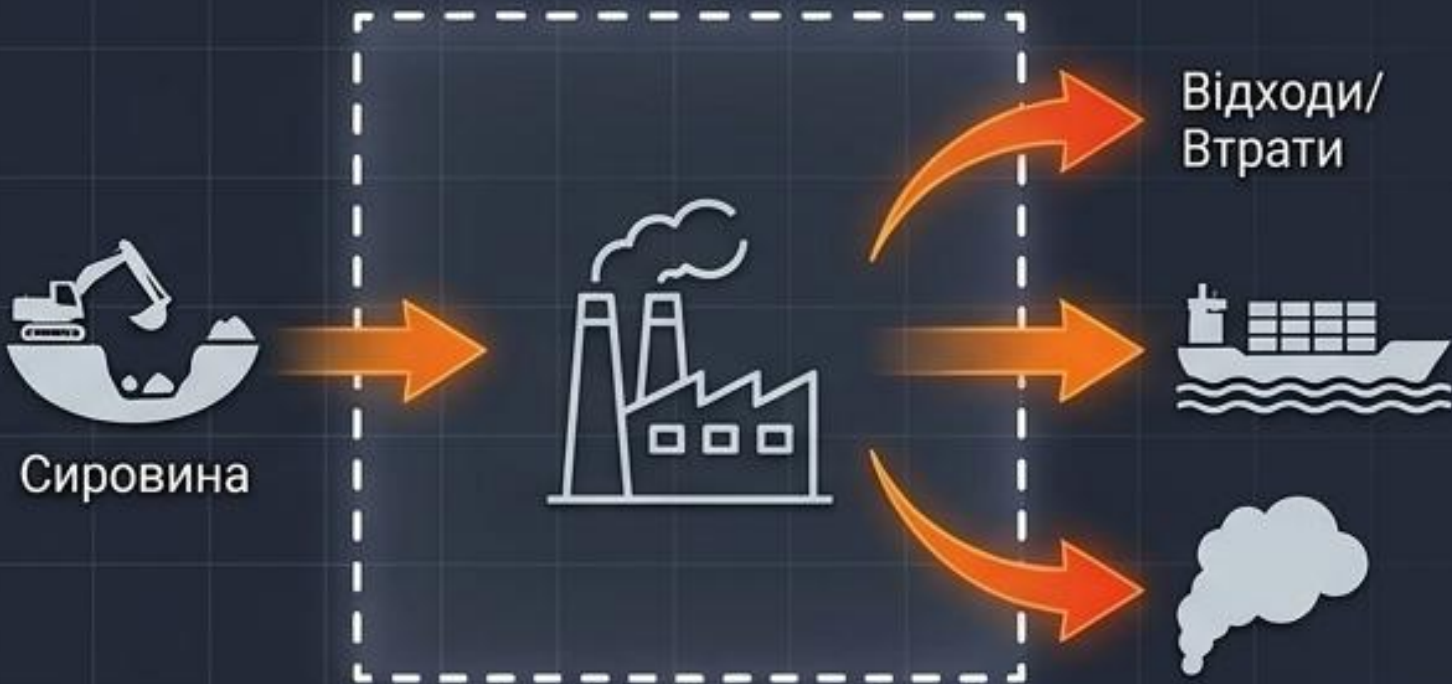
Наука матеріальних потоків

Вузька межа: Ілюзія 100% циркулярності



DE	IMP	EXP	PTB
Домашня екстракція	Імпорт	Експорт	Фізичний торговельний баланс

Розширена межа: Реальні лінійні втрати

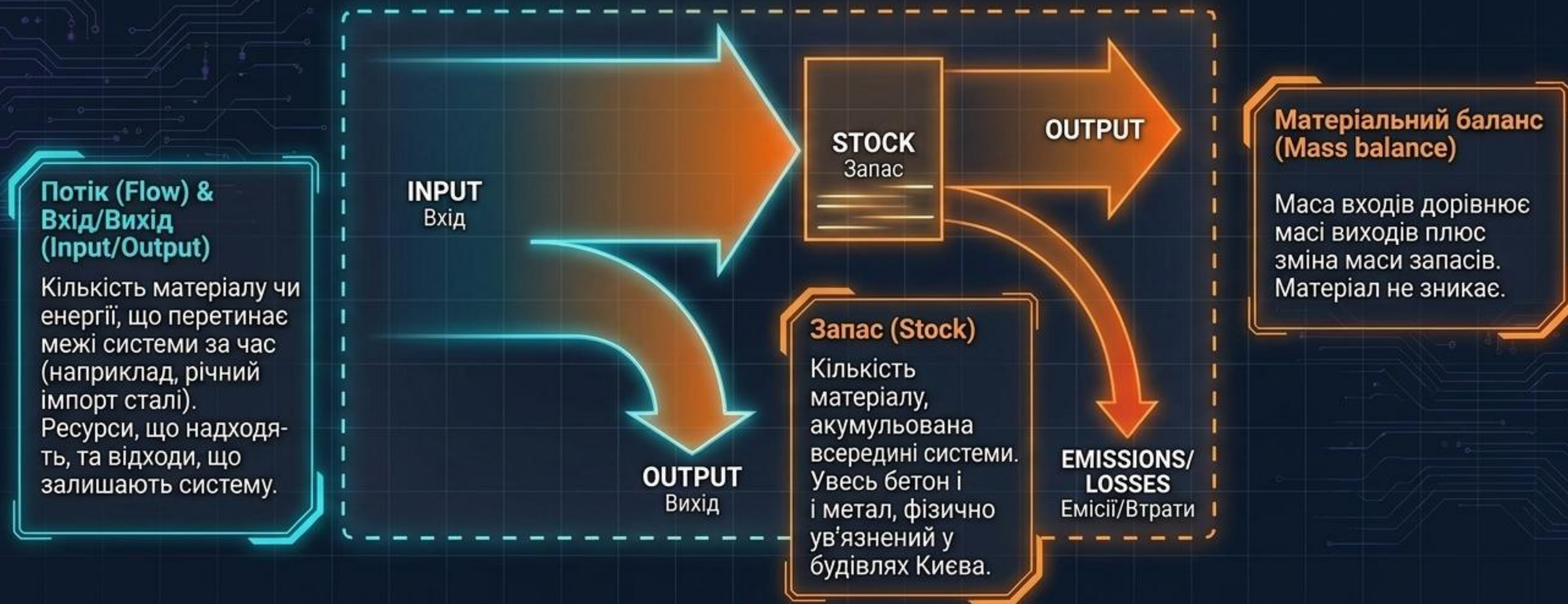


DE	IMP	EXP	PTB
Домашня екстракція	Імпорт	Експорт	Фізичний торговельний баланс

Аналіз матеріальних потоків (MFA): Оцінка потоків та запасів у межах визначеної системи.
Межа системи (System boundary): Лінія, що відділяє досліджувану систему від навколишнього середовища. Електромобіль з вузькою межею є нуль-емісійним, але від видобутку літію до утилізації (cradle-to-grave) з'являється значний екологічний слід.

Фізика циркулярності: Баланс мас

$$\text{Input} = \text{Output} + \Delta\text{Stock}$$



Замикання циклів та Промисловий симбіоз

Замкнений цикл (Closed loop)



Повертає матеріал у той самий продукт.
Алюмінієві банки чи ПЕТ у ПЕТ.

Відкритий цикл (Open loop) & Промисловий симбіоз



Промисловий симбіоз (Industrial symbiosis)

Фізичний обмін матеріалами та енергією між традиційно відокремленими галузями.

Кейс: Побічні органічні потоки агровиробництва. Залишки врожаю живлять локальні біорефайнерії для генерації тепла для теплиць, а дигестат повертається на поля як добриво.

Реальність ресайклінгу та деградація цінності



Механіки ринку: Розширена відповідальність виробника

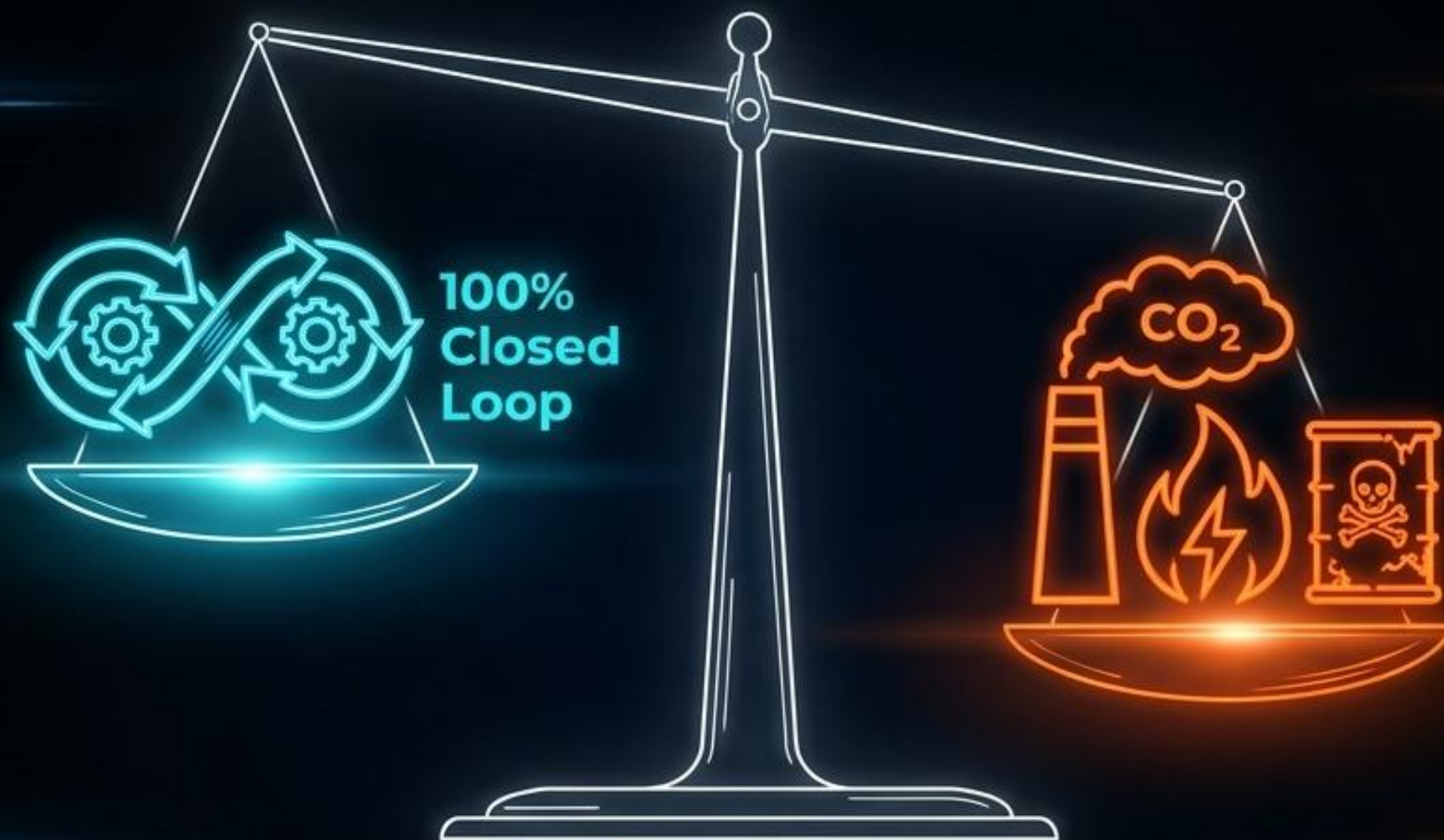


Розширена відповідальність виробника (Extended Producer Responsibility, EPR)

Екологічна політика, за якою фінансова та організаційна відповідальність виробника поширюється на стадію після закінчення експлуатації товару.

Приклад: В ЄС виробники батарейок зобов'язані фінансувати систему їх збору та безпечної переробки, закладаючи цю вартість у початкову ціну. Підкріплюється EU Digital Product Passport.

«Чи є це рішення **циркулярним** і водночас **сталим**?»

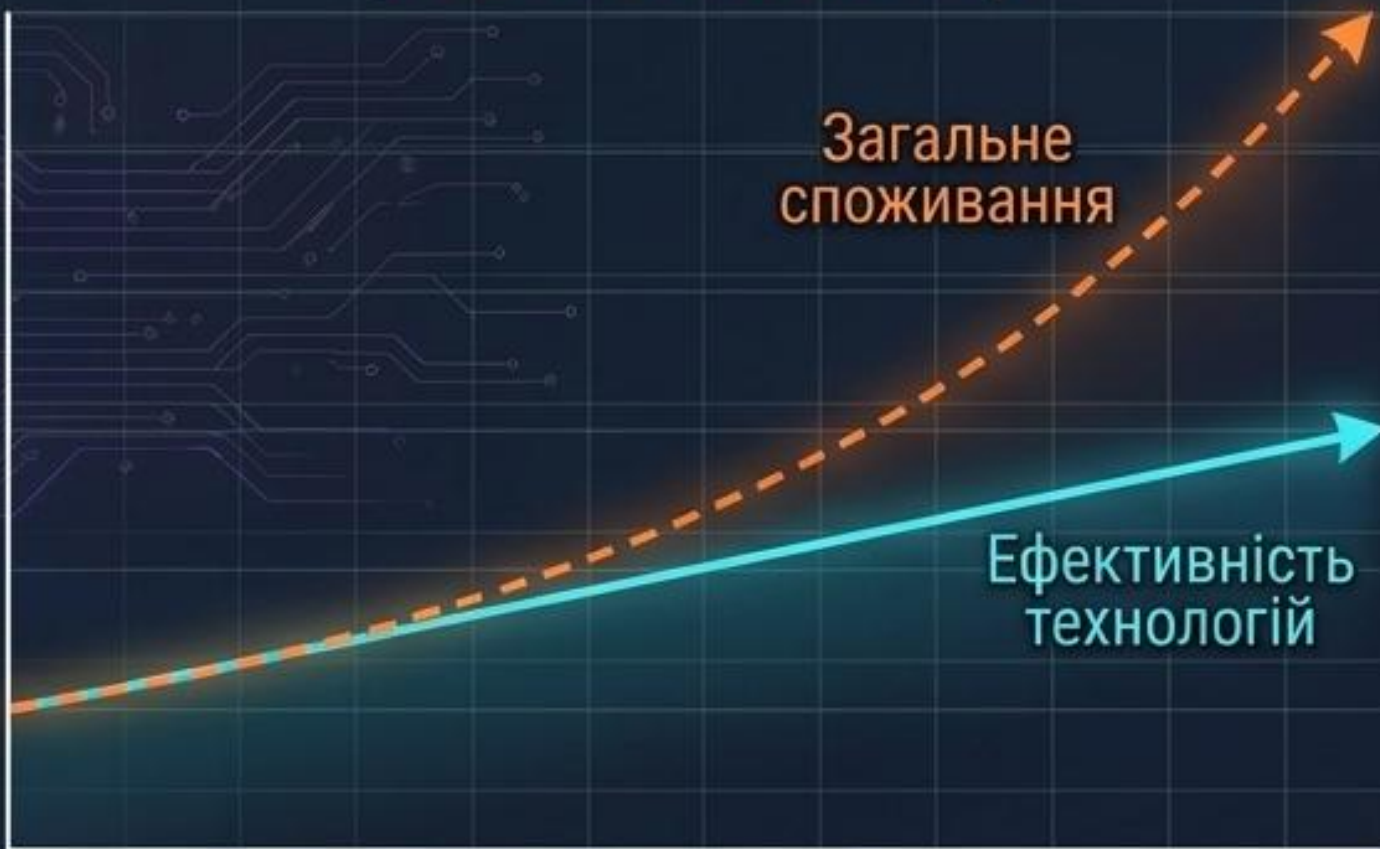


Circularity ≠ Sustainability (Циркулярність ≠ Сталість)

Термодинамічні межі диктують свої правила. Циркулярне рішення може вимагати астрономічних витрат енергії для розщеплення композитних матеріалів. Якщо ця енергія походить з викопного палива, вуглецевий слід такого «ресайклінгу» буде гіршим за виробництво з нуля. Мета — залишитися в межах безпечного екологічного простору (planetary boundaries).

Закон непередбачуваних наслідків

Ефект відскоку (Rebound effect)



Вигоди від підвищення ефективності нівелюються зростанням загального обсягу споживання. Більш дешеві LED-лампи призвели до того, що люди почали освітлювати будинки яскравіше.

Перенесення навантаження (Burden shifting)



Вирішення однієї екологічної проблеми ціною створення іншої або перенесення її в інший регіон. Локальна переробка пластику може вирішити проблему звалищ, але створити токсичні викиди у повітря.

Токсичні петлі

«Чи все, що технічно можна повернути в цикл, безпечно повертати?»



Біологічні та хімічні ризики (Legacy chemicals)

- Дилема збереження небезпечних речовин у циклі проти потреби у «безпечному поглиначі» (safe sink).
- Кейс: Пластик старих телевізорів містить токсичні антипірени. Технічно його можна переробити (downcycling) на дитячі іграшки чи контейнери, але це створить пряму хімічну загрозу. Іноді термічне знищення з очищенням газів (recovery) є безпечнішим для системи, ніж замикання токсичного циклу.

Діагностика складних систем: Нетривіальні кейси



Біологічний дисипативний потік (Циркуляція фосфору)

Фосфор критично важливий, але його потік є розсіяним. Щойно добрива вимиваються у річки та океани, фосфор технічно недоступний. Циркулярність вимагає перехоплення на рівні очисних споруд (у формі струвіту) до того, як потік дисипує.



Повільні макро-запаси (Будівельні компоненти)

Бетон і сталь у будівлях є масивними акумульованими запасами (stocks) з циклом 50-100 років. Демонтаж і повторне використання цілих бетонних панелей (reuse) набагато енергоефективніше, ніж подрібнення їх на щебінь (downcycling).

«Коли замикання циклу **небажане?**»

Матриця оцінки компромісів

	Embedded Energy Retained (Збережена енергія)	Toxic Risk (Токсичний ризик)	True Sustainability (Справжня сталість)
Відновлення ноутбука (Refurbishing)	Висока	Низький	Висока
Механічна переробка пластику	Втрачена	Помірний	Середня
Використання золи ТЕЦ як добрива	Нейтрально	Високий (Важкі метали)	Низька
Переробка змішаного текстилю	Низька (Downcycling)	Помірний	Низька

Інсайт: Відновлення (Refurbishing) перемагає за всіма критеріями. Слепе замикання циклу (наприклад, зола в ґрунт) може створити екологічну катастрофу.

Фінальний інсайт: Проектування метаболічного креслення

Циркулярна економіка — це не кінцева мета, а інструмент досягнення безпечного операційного простору планети (planetary boundaries). Екологи майбутнього — це не менеджери з управління відходами. Це системні архітектори, які формують матеріальні потоки так, щоб відходи навіть не виникали на кресленні.



Shift the boundary. Bend the trend.