

ЛЕКЦІЯ №6
ОЦІНКА ЖИТТЄВОГО
ЦИКЛУ
ПРОДУКЦІЇ/ПРОЦЕСУ



Поняття життєвого циклу продукції/процесу, його значення як ключового інструменту екологічної оцінки.

Цілі та межі дослідження.

Інвентаризація життєвого циклу (LCI).

Оцінка впливів (LCIA).

Інтерпретація результатів.

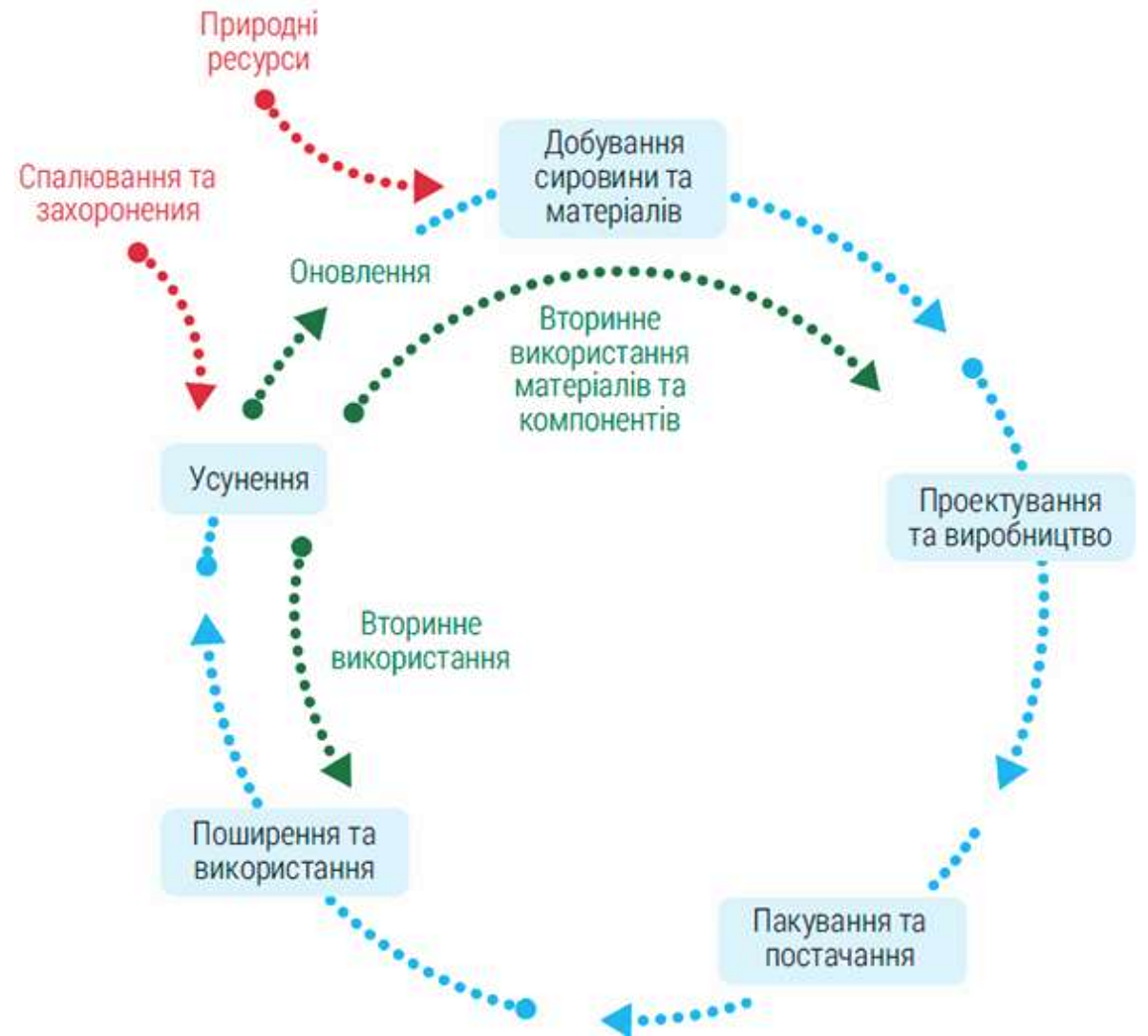
Приклади практичного застосування LCA.



1. Поняття життєвого циклу продукції/процесу, його значення як ключового інструменту екологічної оцінки

- Оцінка життєвого циклу або **ОЖЦ (Life cycle assessment or LCA)** (також відома як аналіз життєвого циклу - **life cycle analysis**) - це методологія оцінки впливу на довкілля, пов'язаного з усіма етапами життєвого циклу комерційного продукту, процесу або послуги.

- Наприклад, у випадку промислового продукту вплив на довкілля оцінюється від видобутку та переробки сировини (колиска), через виробництво, дистрибуцію та використання продукту до переробки або остаточної утилізації матеріалів, з яких він складається (утилізація).



- Дослідження ОЖЦ передбачає ретельну інвентаризацію енергії та матеріалів, необхідних по всьому галузевому ланцюжку створення вартості продукту, процесу або послуги, а також розрахунок відповідних викидів у навколишнє середовище. Таким чином, оцінка життєвого циклу оцінює кумулятивний потенційний вплив на довкілля. Метою є документування та покращення загального екологічного профілю продукту.

- Процедури проведення ОЖЦ включені в серію стандартів екологічного менеджменту **14000** Міжнародної організації зі стандартизації (ISO), зокрема, в **ISO 14040** та **ISO 14044**.

- **ISO 14040** визначає "принципи та структуру" стандарту, в той час як **ISO 14044** містить загальний опис "вимог та настанов". Загалом, **ISO 14040** був написаний для управлінської аудиторії, а **ISO 14044** - для фахівців-практиків.

У вступній частині ISO 14040 дається наступне визначення оцінювання життєвого циклу:

- ОЖЦ вивчає екологічні аспекти та потенційний вплив на довкілля протягом усього життєвого циклу продукту (тобто, від колиски до могили) - від закупівлі сировини до виробництва, використання та утилізації. До загальних категорій впливу на довкілля, що потребують розгляду, належать використання ресурсів, здоров'я людини та екологічні наслідки.

- Підхід до ОЖЦ піддавався критиці як загалом, так і стосовно конкретних випадків (наприклад, щодо узгодженості методології, особливо щодо меж системи, а також щодо схильності конкретних ОЖЦ до упередженості практиків стосовно рішень, які вони намагаються обґрунтувати).

- За відсутності формального набору вимог і керівних принципів, ОЖЦ може бути виконана на основі поглядів фахівця-практика та його переконань щодо методології. У свою чергу, ОЖЦ, виконаний 10 різними сторонами, може дати 10 різних результатів. Стандарт ISO LCA має на меті нормалізувати цю ситуацію; однак настанови не є надмірно обмежувальними, і 10 різних відповідей все одно можуть бути отримані.

Навіщо:

показує «перенесення» впливів між стадіями/середовищами (крос-медійні ефекти);



дозволяє порівнювати альтернативні технології/матеріали на базі функціональної одиниці;



служить базою для екодизайну, декарбонізації, декларування (EPD), вибору інвестицій.

- **Оцінка життєвого циклу - ОЖЦ (Life cycle assessment - LCA)**
іноді згадується як синонім аналізу життєвого циклу в науковій літературі та звітах агентств. Крім того, через загальний характер дослідження ОЖЦ, що полягає у вивченні впливу життєвого циклу від видобутку сировини (**cradle** - колиска) до утилізації (**grave** - могила), його іноді називають "аналізом від колиски до могили" (cradle-to-grave analysis).

Як зазначає
Національна
дослідницька
лабораторія
управління
ризиками ЕРА,
"ОЖЦ - це метод
оцінки екологічних
аспектів та
потенційних
впливів, пов'язаних
з продуктом,
процесом або
послугою, за
допомогою:

Складання інвентаризації відповідних енергетичних і матеріальних ресурсів та викидів у навколишнє середовище

Оцінка потенційного впливу на навколишнє середовище, пов'язаного з визначеними ресурсами та викидами

Інтерпретація результатів, яка допоможе вам прийняти більш обґрунтоване рішення".

- Отже, це метод оцінки впливу на навколишнє середовище, пов'язаний з усіма етапами життєвого циклу продукту від видобутку сировини до переробки матеріалів, виробництва, дистрибуції, використання, ремонту та обслуговування, а також утилізації або переробки.

- Результати використовуються для того, щоб допомогти особам, які приймають рішення, вибрати продукти або процеси, що призводять до найменшого впливу на навколишнє середовище, розглядаючи всю систему продуктів і уникаючи субоптимізації, яка могла б статися, якби використовувався лише один процес.

- Таким чином, мета ОЖЦ полягає в тому, щоб порівняти повний спектр екологічних впливів, які можуть бути притаманні продуктам і послугам, шляхом кількісного визначення всіх входів і виходів матеріальних потоків та оцінки того, як ці матеріальні потоки впливають на навколишнє середовище. Ця інформація використовується для вдосконалення процесів, підтримки політики та забезпечення надійної основи для прийняття обґрунтованих рішень.

- Термін "життєвий цикл" означає, що справедлива, цілісна оцінка вимагає оцінки видобутку сировини, виробництва, розподілу, використання та утилізації, включаючи всі проміжні етапи транспортування, необхідні або спричинені існуванням продукту.

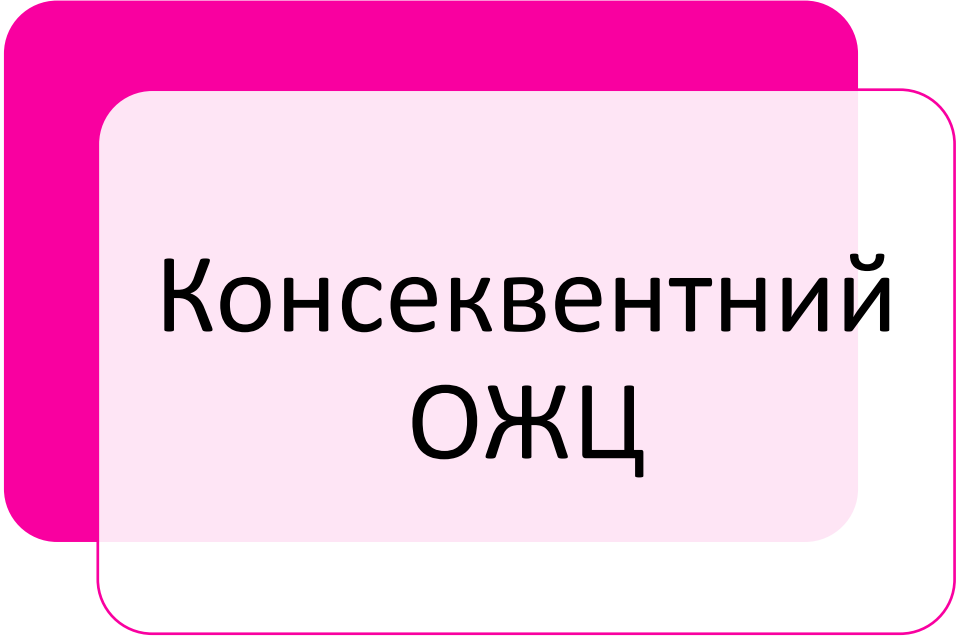
- Незважаючи на спроби стандартизувати ОЖЦ, результати різних ОЖЦ часто суперечать один одному, тому нереалістично очікувати, що ці результати будуть унікальними та об'єктивними. Таким чином, його слід розглядати не як такий, а скоріше як сімейство методів, що намагаються кількісно оцінити результати з різних точок зору.

Серед цих методів можна виділити два
ОСНОВНІ ТИПИ:



Атрибутивний
ОЖЦ

The diagram shows a light pink rounded rectangle containing the text 'Атрибутивний ОЖЦ'. This rectangle is partially overlapped by a darker pink rounded rectangle on its top-left corner. The entire structure is enclosed within a thin pink border.



Консеквентний
ОЖЦ

The diagram shows a light pink rounded rectangle containing the text 'Консеквентний ОЖЦ'. This rectangle is partially overlapped by a darker pink rounded rectangle on its top-left corner. The entire structure is enclosed within a thin pink border.

- Атрибутивна ОЖЦ намагається визначити тягар, пов'язаний з виробництвом і використанням продукту, або з конкретною послугою чи процесом протягом визначеного часового періоду.

Присвоювальний (attributional) vs наслідковий (consequential) підходи

- Наслідкові ОЖЦ спрямовані на визначення екологічних наслідків рішення або запропонованих змін у досліджуваній системі, а отже, орієнтовані на майбутнє і вимагають врахування ринкових та економічних наслідків. Іншими словами, Атрибутивна ОЖЦ "намагається відповісти на питання "як відбуваються потоки (тобто забруднюючих речовин, ресурсів та обміни між процесами) в межах обраного часового вікна?", тоді як Наслідкова ОЖЦ намагається відповісти на питання "як зміняться потоки за межами безпосереднього впливу на систему у відповідь на прийняті рішення?".

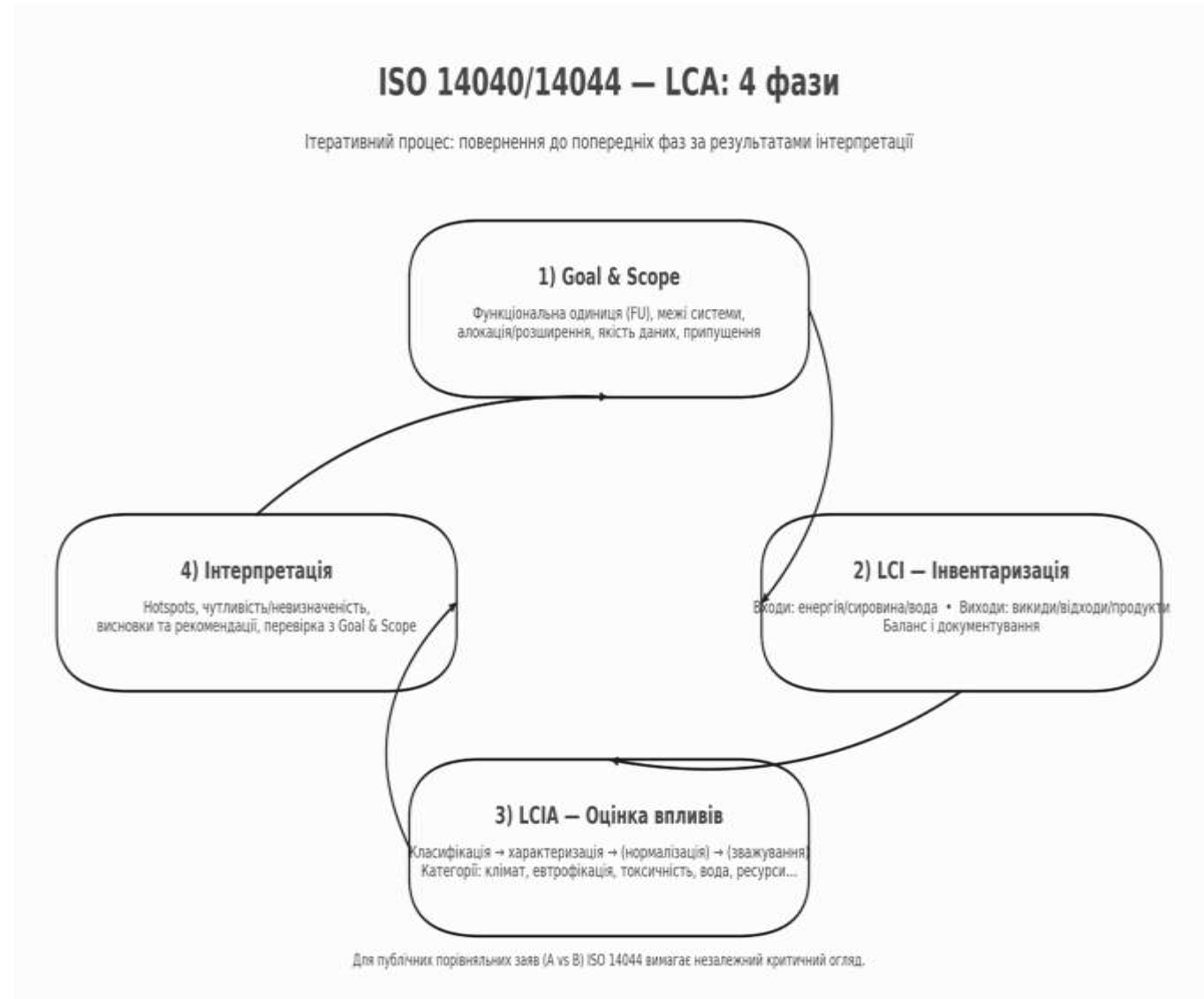
- Третій тип ОЖЦ, який називається "соціальна ОЖЦ", також перебуває на стадії розробки і є окремим підходом, призначеним для оцінки потенційних соціальних і соціально-економічних наслідків і впливів. Соціальна оцінка життєвого циклу (Social Life Cycle Assessment, SLCA) є корисним інструментом для компаній для визначення та оцінки потенційних соціальних впливів протягом життєвого циклу продукту або послуги на різні зацікавлені сторони (наприклад, працівників, місцеві громади, споживачів). SLCA ґрунтується на Керівництві ЮНЕП/СЕТАК з оцінки соціального життєвого циклу продукції, опублікованому в 2009 році в Квебеку. Інструмент ґрунтується на Настановах з соціальної відповідальності ISO 26000:2010 та Настановах Глобальної ініціативи зі звітності (GRI).

- Обмеження ОВЖЦ зосередженням виключно на екологічних аспектах сталості, а не на економічних чи соціальних аспектах, відрізняє його від аналізу продуктової лінійки (АЛП) та подібних методів. Це обмеження було зроблено навмисно, щоб уникнути перевантаження методу, але визнає, що ці фактори не слід ігнорувати при прийнятті рішень щодо продукції.

- Деякі загальновизнані процедури для ОЖЦ включені до серії стандартів екологічного менеджменту ISO 14000, зокрема, ISO 14040 та 14044. Оцінювання життєвого циклу продукції з точки зору викидів парникових газів (ПГ) може також відповідати таким специфікаціям, як Загальнодоступна специфікація (PAS) 2050 та Стандарт обліку та звітності щодо життєвого циклу протоколу викидів парникових газів (GHG Protocol).

Основні етапи оцінки життєвого циклу за стандартом ISO

- Відповідно до стандартів ISO 14040 та 14044, оцінка життєздатності об'єктів складається з чотирьох окремих етапів. Етапи часто взаємозалежні в тому сенсі, що результати одного етапу впливають на завершення інших етапів. Тому жоден з етапів не можна вважати завершеним, доки не буде завершено все дослідження.



2. Визначення цілей і меж (Goal & Scope)

- **Стандарт ISO з LCA** вимагає кількісного та якісного вираження низки параметрів, які іноді називають параметрами дизайну дослідження (study design parameters - SPD). Двома основними SPDs для LCA є мета та сфера застосування, які повинні бути чітко визначені. Рекомендується використовувати ключові слова, представлені в Стандарті, при документуванні цих деталей (наприклад, "Метою дослідження є..."), щоб уникнути плутанини і забезпечити інтерпретацію дослідження за призначенням.

- Як правило, дослідження з оцінки життєвого циклу починається з чіткого формулювання мети, яка визначає контекст дослідження та пояснює, як і кому будуть повідомлені його результати.



Згідно з настановами ISO, мета повинна однозначно визначати наступні пункти:

1. Передбачуване застосування

2. Причини проведення дослідження

3. Аудиторія

4. Чи будуть результати використані в порівняльній заяві, оприлюдненій публічно

- Мета також має бути визначена разом із замовником дослідження, і рекомендується отримати від нього детальний опис того, для чого проводиться дослідження.



- Після визначення мети необхідно визначити сферу дослідження, окресливши якісну та кількісну інформацію, включену в дослідження. На відміну від мети, яка може включати лише кілька речень, обсяг дослідження часто займає кілька сторінок. Його мета - описати деталі та глибину дослідження і продемонструвати, що мета може бути досягнута в межах встановлених обмежень.

Згідно зі стандартом ISO LCA Standard, обсяг дослідження повинен містити наступне:

Система продукту
(Product System)

Функціональна
одиниця
(Functional Unit)

Референтний
потік (Reference
Flow)

Межа системи
(System
Boundary)

Припущення та
обмеження
(Assumptions
and Limitations)

Вимоги до якості
даних (Data
Quality
Requirements)

Процедура
розподілу
(Allocation
Procedure)

Оцінка впливу
(Impact
Assessment)

Документація
даних
(Documentation
of Data)

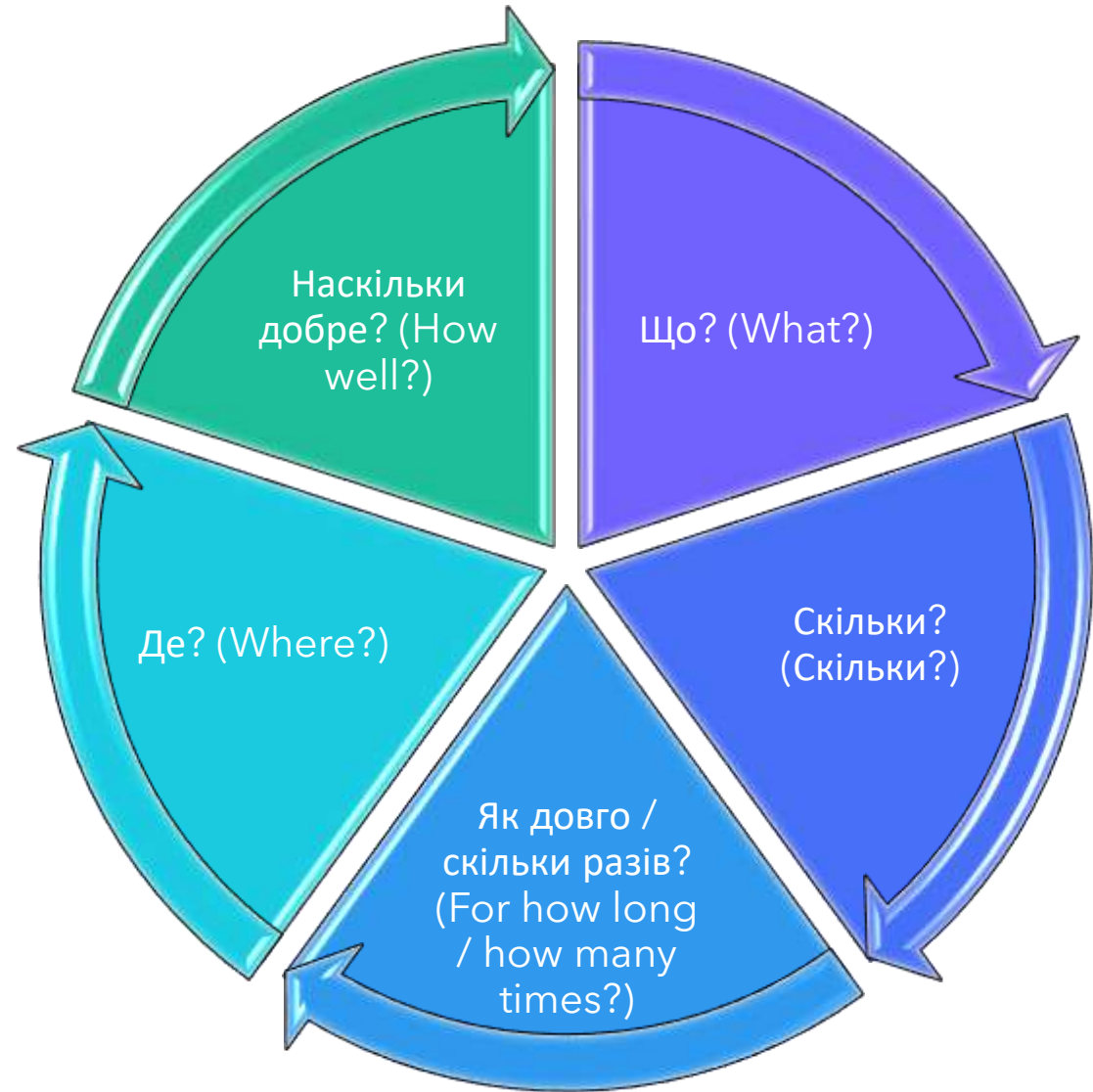
Система продукту (Product System)

- сукупність процесів (видів діяльності, які перетворюють входи у виходи), необхідних для виконання визначеної функції і знаходяться в межах системної межі дослідження. Вона є репрезентативною для всіх процесів життєвого циклу продукту або процесу.

Функціональна одиниця (Functional Unit)

- яка точно визначає, що саме вивчається, кількісно оцінює послугу, що надається системою, надає посилання, з яким можна пов'язати входи і виходи, і забезпечує основу для порівняння/аналізу альтернативних товарів або послуг. Функціональна одиниця є дуже важливим компонентом LCA і має бути чітко визначена. Вона використовується як основа для вибору однієї або декількох товарних систем, які можуть забезпечити виконання функції. Таким чином, функціональна одиниця дозволяє розглядати різні системи як функціонально еквівалентні. Визначена функціональна одиниця повинна бути кількісно вимірюваною, включати одиниці, враховувати часове охоплення і не містити входів і виходів продуктової системи (наприклад, кг викидів CO₂).

Інший спосіб
поглянути на це
- розглянути
наступні
питання:



Референтний потік (Reference Flow)

- це кількість продукту або енергії, яка необхідна для реалізації функціональної одиниці. Як правило, еталонний потік відрізняється якісно і кількісно для різних продуктів або систем в межах одного і того ж еталонного потоку; однак бувають випадки, коли вони можуть бути однаковими.

Межа системи (System Boundary)

- яка визначає, які процеси повинні бути включені в аналіз продуктової системи, в тому числі, чи виробляє система будь-які побічні продукти, які повинні бути враховані при розширенні або розподілі системи. Межі системи повинні відповідати поставленій меті дослідження.

Припущення та обмеження (Assumptions and Limitations)

- які включають будь-які припущення або рішення, прийняті в ході дослідження, які можуть вплинути на кінцеві результати. Важливо, щоб вони були передані, оскільки їх відсутність може призвести до неправильної інтерпретації результатів. Додаткові припущення та обмеження, необхідні для виконання проекту, часто робляться протягом усього проекту, і їх слід занотовувати в міру необхідності.

Вимоги до якості даних (Data Quality Requirements)

- які визначають види даних, що будуть включені, і з якими обмеженнями. Відповідно до ISO 14044, в обсязі повинні бути задокументовані наступні міркування щодо якості даних:
 - 1. Часове охоплення (Temporal Coverage)
 - 2. Географічне охоплення (Geographical Coverage)
 - 3. Технологічне покриття (Technological Coverage)
 - 4. Точність, повнота та репрезентативність даних (Precision, completeness, and representativeness of the data)
 - 5. Послідовність та відтворюваність методів, використаних у дослідженні (Consistency and reproducibility of the methods used in the study)
 - 6. Джерела даних (Sources of Data)
 - 7. Невизначеність інформації та будь-які визнані прогалини в даних (Uncertainty of information and any recognized data gaps)

Процедура розподілу (Allocation Procedure)

- яка використовується для розподілу входів і виходів продукту і є необхідною для процесів, які виробляють декілька продуктів або побічних продуктів. Це також відомо як багатofункціональність системи продукції. ISO 14044 представляє ієрархію рішень для вирішення питань багатofункціональності, оскільки вибір методу розподілу побічних продуктів може суттєво вплинути на результати аналізу життєвого циклу продукції.

Ієрархія методів полягає в наступному:

- **1.** уникнення розподілу шляхом поділу на підпроцеси - цей метод намагається розбити основний процес на менші підпроцеси для того, щоб відокремити виробництво продукту від виробництва побічного продукту.
- 2.** Уникнути розподілу через розширення системи (або заміщення) - цей метод намагається розширити процес виробництва побічного продукту найбільш вірогідним способом забезпечення вторинної функції визначального продукту (або референтного продукту). Іншими словами, шляхом розширення системи побічного продукту до найбільш ймовірного альтернативного способу виробництва побічного продукту самостійно (Система 2). Вплив альтернативного способу виробництва побічної продукції (Система 2) потім віднімається від визначального продукту, щоб ізолювати впливи в Системі 1.
- 3.** Розподіл (або поділ) на основі фізичних взаємозв'язків - цей метод намагається розділити входи і виходи та розподілити їх на основі фізичних взаємозв'язків між продуктами (наприклад, маса, використання енергії і т.д.).
- 4.** Розподіл (або поділ) на основі інших зв'язків (нефізичних) - цей метод намагається розділити вхідні та вихідні ресурси та розподілити їх на основі нефізичних зв'язків (наприклад, економічної вартості).

Оцінка впливу (Impact Assessment)

- яка включає опис категорій впливу, що становлять інтерес для дослідження, та обрану методологію, що використовується для розрахунку відповідних впливів. Зокрема, дані інвентаризації життєвого циклу переводяться в бали впливу на навколишнє середовище, які можуть включати такі категорії, як токсичність для людини, смог, глобальне потепління та евтрофікація. В рамках цього розділу необхідно надати лише загальний огляд, оскільки основний аналіз категорій впливу обговорюється на етапі оцінки впливу на життєвий цикл (ОВЖЦ) дослідження.

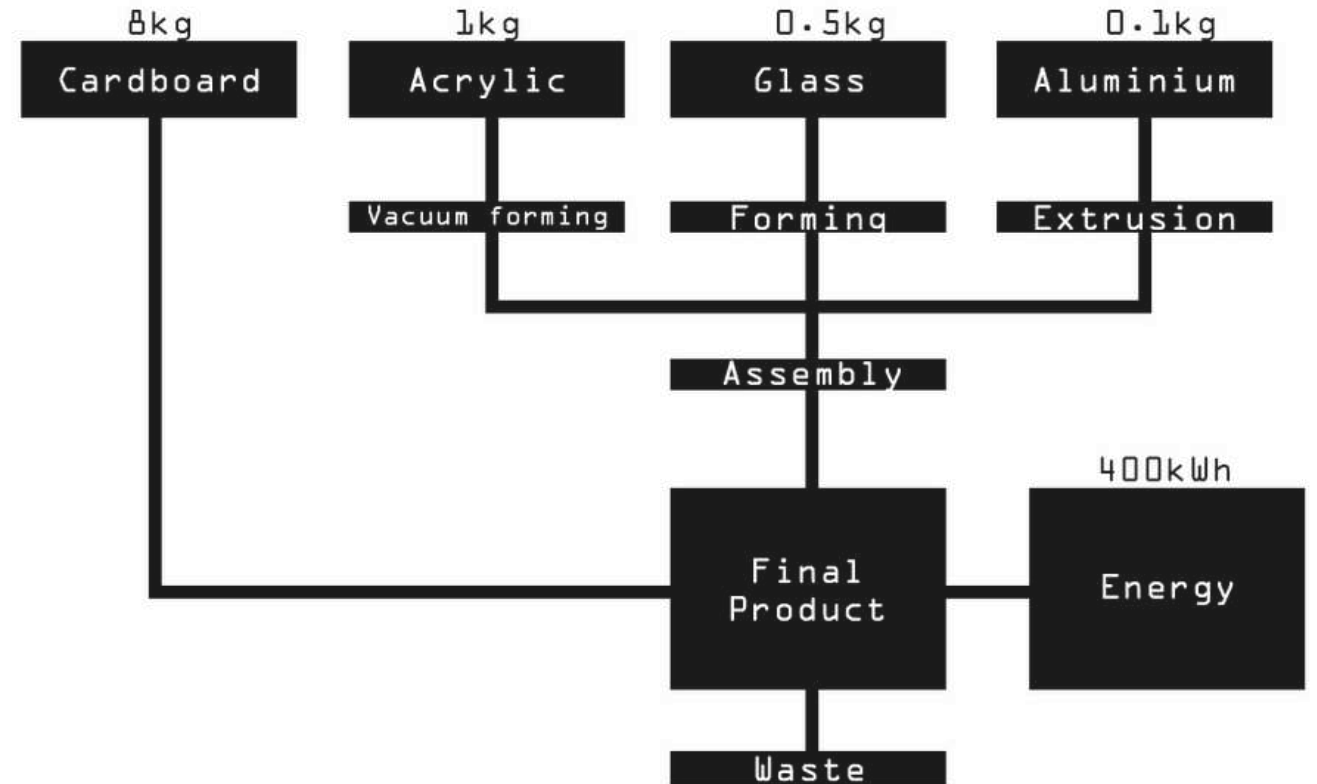
Документація даних (Documentation of Data)

- яка є чітким документуванням вхідних/вихідних даних (окремих потоків), що використовуються в рамках дослідження. Це необхідно, оскільки більшість аналізів не враховують всі вхідні та вихідні дані системи продукту, тому це забезпечує аудиторію прозорим представленням вибраних даних. Це також забезпечує прозорість того, чому було обрано ту чи іншу межу системи, продуктову систему, функціональний підрозділ тощо.

3. Інвентаризація життєвого циклу (Life Cycle Inventory - LCI)

- Аналіз інвентаризації життєвого циклу (Life Cycle Inventory - LCI) передбачає створення інвентаризації потоків з природи (екосфери) та в природу (екосистему) для продуктової системи. Це процес кількісної оцінки потреб у сировині та енергії, атмосферних викидів, земельних викидів, водних викидів, використання ресурсів та інших викидів протягом життєвого циклу продукту або процесу. Іншими словами, це об'єднання всіх елементарних потоків, пов'язаних з кожним окремим процесом у межах системи виробництва продукції.

Для розробки інвентаризації часто рекомендують починати з моделі потоку технічної системи, використовуючи дані про входи та виходи системи виробництва продукції. Модель потоку, як правило, ілюструється блок-схемою, яка включає види діяльності, що підлягають оцінюванню у відповідному ланцюгу постачання, і дає чітке уявлення про межі технічної системи.

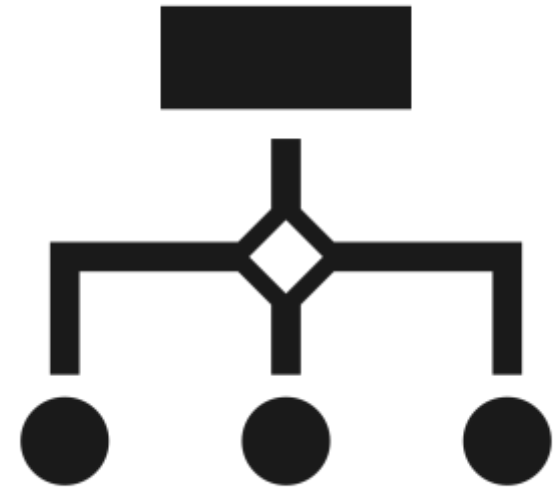


Приклад діаграми інвентаризації життєвого циклу (LCI)

- Як правило, чим детальніша і складніша блок-схема, тим точніше дослідження і результати. Вхідні та вихідні дані, необхідні для побудови моделі, збираються для всіх видів діяльності в межах системи, в тому числі з ланцюга постачання (так звані вхідні дані з техносфери).

- Як зазначено в стандарті ISO 14044, дані мають бути пов'язані з функціональною одиницею, а також з метою та обсягом дослідження. Однак, оскільки етапи LCI є ітеративними за своєю природою, етап збору даних може призвести до зміни мети або обсягу дослідження. І навпаки, зміна мети або обсягу дослідження під час його проведення може спричинити додатковий збір даних або вилучення раніше зібраних даних з LCI.

- Результатом LCI є складений перелік елементарних потоків від усіх процесів у досліджуваній системі (системах) продукції. Дані, як правило, деталізуються в діаграмах і вимагають структурованого підходу через свою складну природу.



- Під час збору даних для кожного процесу в межах системи, стандарт ISO LCA вимагає, щоб дослідження вимірювало або оцінювало дані для того, щоб кількісно представити кожен процес у продуктивній системі. В ідеалі, збираючи дані, фахівець повинен прагнути збирати дані з первинних джерел (наприклад, вимірювати вхідні та вихідні дані процесу на місці або іншими фізичними засобами). Для збору даних на місці часто використовують опитувальники, які можна навіть видати відповідному виробнику або компанії для заповнення.

В анкету можуть бути включені такі пункти, що підлягають реєстрації:

1. Продукт для збору даних (Продукт для збору даних)
2. Збирач даних і дата (Data Collector and Date)
3. Період збору даних (Період збору даних)
4. Детальне пояснення процесу (Детальне пояснення процесу)
5. Вхідні дані (Inputs) (сировина, допоміжні матеріали, енергія, транспорт)
6. Результати (Outputs) (викиди в повітря, воду та землю)
7. Кількість та якість кожного входу та виходу (Quantity and Quality of each input and output)

- Часто збір первинних даних може бути складним, і власник може вважати їх власністю або конфіденційною інформацією.

Альтернативою первинним даним є вторинні дані, тобто дані, які надходять з баз даних LCA, літературних джерел та інших попередніх досліджень. У вторинних джерелах часто можна знайти дані, які схожі на процес, але не є точними (наприклад, дані з іншої країни, дещо інший процес, схожа, але інша машина тощо). Тому важливо чітко задокументувати відмінності в таких даних. Втім, вторинні дані не завжди поступаються первинним. Наприклад, посилання на дані іншої роботи, в якій автор використав дуже точні первинні дані. Поряд з первинними даними, вторинні дані повинні документувати джерело, надійність, а також часову, географічну і технологічну репрезентативність.

- Визначаючи вхідні та вихідні дані, які необхідно документувати для кожного окремого процесу в рамках системи виробництва продукції в рамках LCI, фахівець може зіткнутися з випадком, коли процес має кілька вхідних потоків або генерує кілька вихідних потоків. У такому випадку фахівець повинен розподілити потоки на основі "Процедури розподілу", описаної в попередньому розділі "Мета та обсяг" цієї статті.

- Простіше кажучи, техносфера - це світ, створений людиною, і розглядається геологами як вторинні ресурси, ці ресурси теоретично на 100% піддаються переробці; однак на практиці першочерговим завданням є порятунок. Для LCI ці продукти техносфери (продукти ланцюга поставок) - це ті, що були вироблені людиною, включаючи такі продукти, як лісові ресурси, матеріали та енергетичні потоки. Як правило, вони не мають доступу до даних про вхідні та вихідні дані для попередніх процесів виробництва продукту.

- Організація, що проводить оцінку життєвого циклу продукції, повинна звернутися до вторинних джерел, якщо вона ще не має таких даних, отриманих у результаті попередніх досліджень. Звичайними джерелами такої інформації є національні бази даних або набори даних, які постачаються разом з інструментами для проведення LCA, або до яких є вільний доступ. Потім необхідно подбати про те, щоб вторинне джерело даних належним чином відображало регіональні або національні умови.

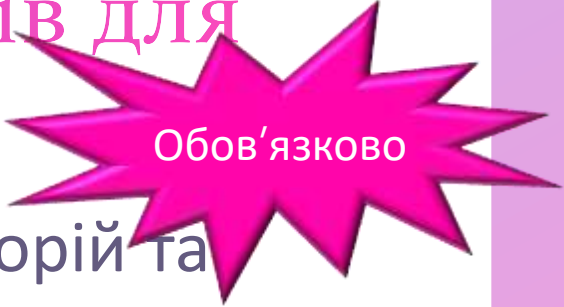
- Методи LCI включають "процесну LCI", економічну LCI "витрати-випуск" (EIOLCA) та гібридні підходи. ОВЖЦ на основі процесів - це висхідний підхід до LCI, який будує LCI, використовуючи знання про промислові процеси в межах життєвого циклу продукту та фізичні потоки, що їх пов'язують. EIOLCA є низхідним підходом до ОЖЦ і використовує інформацію про елементарні потоки, пов'язані з однією одиницею економічної діяльності в різних секторах. Цю інформацію, як правило, беруть з національної статистики державних органів, які відстежують торгівлю та послуги між секторами. Гібридна LCA - це поєднання LCA на основі процесів та EIOLCA.

- Якість даних LCI зазвичай оцінюється за допомогою матриці родоводу. Існують різні родовідні матриці, але всі вони містять низку показників якості даних і набір якісних критеріїв для кожного показника. Існує ще один гібридний підхід, який поєднує широко розповсюджений напівкількісний підхід, що використовує родовідну матрицю, з якісним аналізом, щоб краще проілюструвати якість даних LCI для нетехнічних аудиторій, зокрема, для політиків.

4. Оцінка впливу на життєвий цикл (Life Cycle Impact Assessment - LCIA)

- За аналізом інвентаризації життєвого циклу слідує оцінка впливу життєвого циклу (LCIA). Цей етап LCA спрямований на оцінку потенційного впливу на навколишнє середовище та здоров'я людини, що виникає внаслідок елементарних потоків, визначених в LCI.

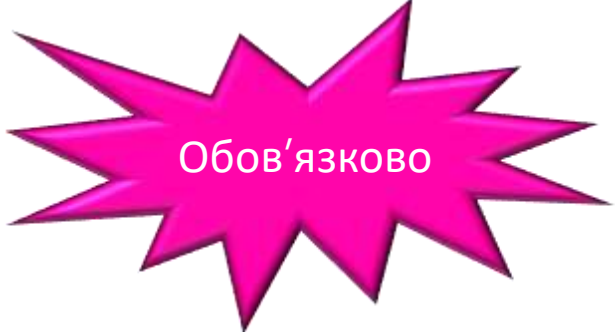
Стандарти ISO 14040 та 14044 вимагають виконання наступних обов'язкових кроків для завершення LCIA:



Обов'язково

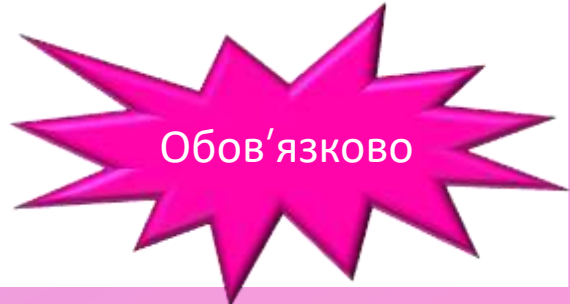
- Вибір (селекція) категорій впливів, індикаторів категорій та моделей характеристик. Стандарт ISO вимагає, щоб у дослідженні було обрано декілька впливів, які охоплюють "комплексний набір екологічних питань". Впливи мають бути релевантними для географічного регіону дослідження, а обґрунтування кожного обраного впливу має бути обговорено. Часто на практиці це завершується вибором вже існуючого методу оцінки впливу на довкілля (наприклад, TRACI, ReCiPe, AWARE тощо).

- Класифікація (систематизація) результатів інвентаризації. На цьому етапі результати LCI розподіляються за обраними категоріями впливу на основі їхнього відомого впливу на навколишнє середовище. На практиці це часто виконується за допомогою баз даних LCI або програмного забезпечення для оцінки впливу на довкілля. До поширених категорій впливу належать глобальне потепління, виснаження озонового шару, підкислення, токсичність для людини тощо.



Обов'язково

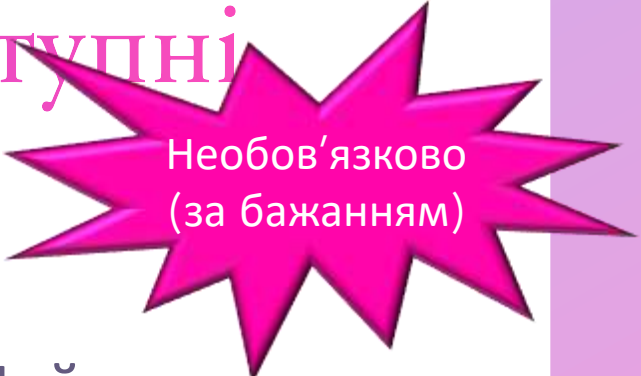
- Характеристика (Characterization), яка кількісно перетворює результати LCI в межах кожної категорії впливу за допомогою "коефіцієнтів характеристики" (також званих коефіцієнтами еквівалентності) для створення "індикаторів категорії впливу". Іншими словами, цей крок спрямований на те, щоб відповісти на питання "наскільки кожен результат робить внесок у категорію впливу?". Основна мета цього кроку - перевести всі класифіковані потоки впливу в загальні одиниці для порівняння. Наприклад, для потенціалу глобального потепління ця одиниця зазвичай визначається як CO₂-екв або CO₂-е (еквівалент CO₂), де CO₂ має значення 1, а всі інші одиниці конвертуються відповідно до їхнього впливу.



Обов'язково

- У багатьох оцінках життєвого циклу характеристика завершує аналіз ОВНС, оскільки це останній обов'язковий етап згідно зі стандартом ISO 14044.

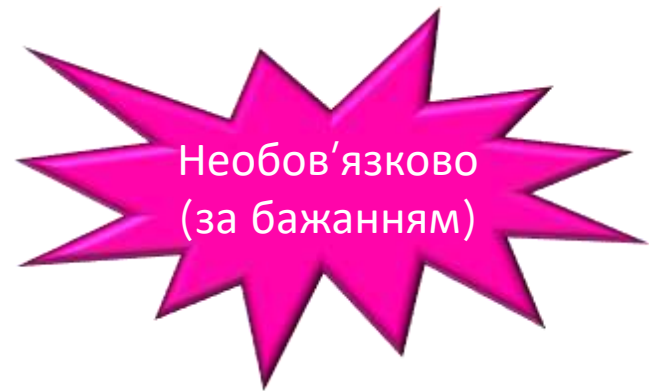
Однак стандарт ISO передбачає наступні необов'язкові кроки на додаток до вищезгаданих обов'язкових етапів:



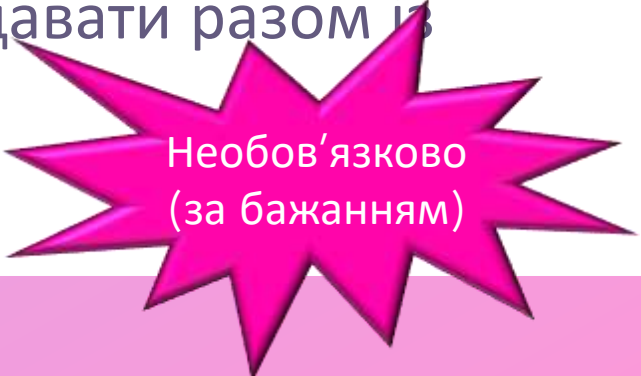
Необов'язково
(за бажанням)

- Нормалізація результатів (Нормалізація результатів). Цей крок має на меті відповісти на запитання "Чи не забагато?", виражаючи результати LCIA у вибраній системі відліку. Для кожної категорії впливу часто обирається окреме еталонне значення, а обґрунтуванням цього кроку є забезпечення часової та просторової перспективи та допомога у перевірці результатів LCIA. Стандартні референтні значення - це типові впливи для кожної категорії впливу на: географічну зону, мешканця географічної зони (на особу), промисловий сектор або іншу систему продукції чи базовий референтний сценарій.

- Групування результатів LCIA (Grouping of LCIA results). Цей крок виконується шляхом сортування або ранжування результатів АМРЛ (охарактеризованих або нормалізованих, залежно від обраних попередніх кроків) в одну групу або кілька груп, як визначено в рамках мети та обсягу. Однак групування є суб'єктивним і може бути непослідовним у різних дослідженнях.



- Зважування категорій впливу (Weighting of impact categories). Цей крок має на меті визначити значущість кожної категорії та її важливість відносно інших. Він дозволяє об'єднати оцінки впливу в єдиний показник для порівняння. Зважування є дуже суб'єктивним і часто приймається на основі етичних міркувань зацікавлених сторін. Існує три основні категорії методів зважування: панельний метод, метод монетизації та цільовий метод. Стандарт ISO 14044 загалом не рекомендує використовувати зважування, зазначаючи, що "зважування не повинно використовуватися в дослідженнях з оцінки життєвого циклу, призначених для використання в порівняльних твердженнях, призначених для оприлюднення громадськості". Якщо в дослідженні приймається рішення про зважування результатів, то для прозорості зважені результати завжди слід подавати разом із незваженими результатами.



Необов'язково
(за бажанням)

- Впливи життєвого циклу також можна класифікувати за кількома фазами розробки, виробництва, використання та утилізації продукту. У широкому розумінні ці впливи можна розділити на перші впливи, впливи під час використання та впливи наприкінці життєвого циклу. Перші впливи включають видобуток сировини, виробництво (перетворення сировини на продукт), транспортування продукту на ринок або майданчик, будівництво/монтаж, початок використання або заселення.

- Вплив використання включає фізичний вплив експлуатації продукту або об'єкта (наприклад, енергія, вода тощо), а також будь-яке технічне обслуговування, реконструкцію або ремонт, необхідні для продовження використання продукту або об'єкта. Вплив наприкінці життєвого циклу включає знесення та переробку відходів або матеріалів, що підлягають вторинній переробці.

5. Інтерпретація (Interpretation)

- Інтерпретація життєвого циклу - це систематичний метод ідентифікації, кількісного визначення, перевірки та оцінки інформації, отриманої за результатами інвентаризації життєвого циклу та/або оцінки впливу життєвого циклу.

- Результати аналізу інвентаризації та оцінки впливу узагальнюються на етапі інтерпретації.

Результатом етапу інтерпретації є набір висновків і рекомендацій для дослідження.

Відповідно до
ISO 14043,
інтерпретація
повинна
включати
наступне:

Ідентифікацію суттєвих питань на основі
результатів етапів LCI та LCIA оцінювання
життєздатності об'єкта дослідження

Оцінка дослідження з урахуванням
перевірки повноти, чутливості та
узгодженості

Висновки, обмеження та рекомендації

- Ключовою метою інтерпретації життєвого циклу є визначення рівня довіри до остаточних результатів і повідомлення їх у чесний, повний і точний спосіб. Інтерпретація результатів аналізу життєвого циклу не є такою простою, як "3 краще, ніж 2, тому альтернатива А є найкращим вибором". Інтерпретація починається з розуміння точності результатів і забезпечення їх відповідності меті дослідження.

- Це досягається шляхом визначення елементів даних, які роблять значний внесок у кожну категорію впливу, оцінки чутливості цих важливих елементів даних, оцінки повноти та узгодженості дослідження, а також формулювання висновків і рекомендацій на основі чіткого розуміння того, як проводилася оцінка впливу та були отримані результати.

LCA використовує

- LCA передусім використовувався як інструмент порівняння, надаючи інформативну інформацію про вплив продукту на навколишнє середовище та порівнюючи його з наявними альтернативами. Його потенційне застосування розширилося до маркетингу, дизайну продукції, розробки продукції, стратегічного планування, освіти споживачів, екологічного маркування та урядової політики.

ISO визначає три типи класифікації стандартів та екологічного маркування:

Екологічне маркування типу I вимагає процесу сертифікації третьою стороною для перевірки відповідності продукції набору критеріїв, відповідно до ISO 14024.

Екологічне маркування типу II - це самостійно задекларовані екологічні вимоги, відповідно до ISO 14021.

Екологічна декларація типу III, також відома як екологічна декларація продукції (environmental product declaration - EPD), використовує LCA як інструмент для звітування про екологічні характеристики продукції, при цьому вона відповідає стандартам ISO 14040 та 14044.

- EPDs забезпечують рівень прозорості, який все частіше вимагається політикою та стандартами в усьому світі. Вони використовуються в будівельному середовищі як інструмент для експертів у галузі, щоб легше складати оцінки всього життєвого циклу будівлі, оскільки вплив окремих продуктів на навколишнє середовище є відомим.

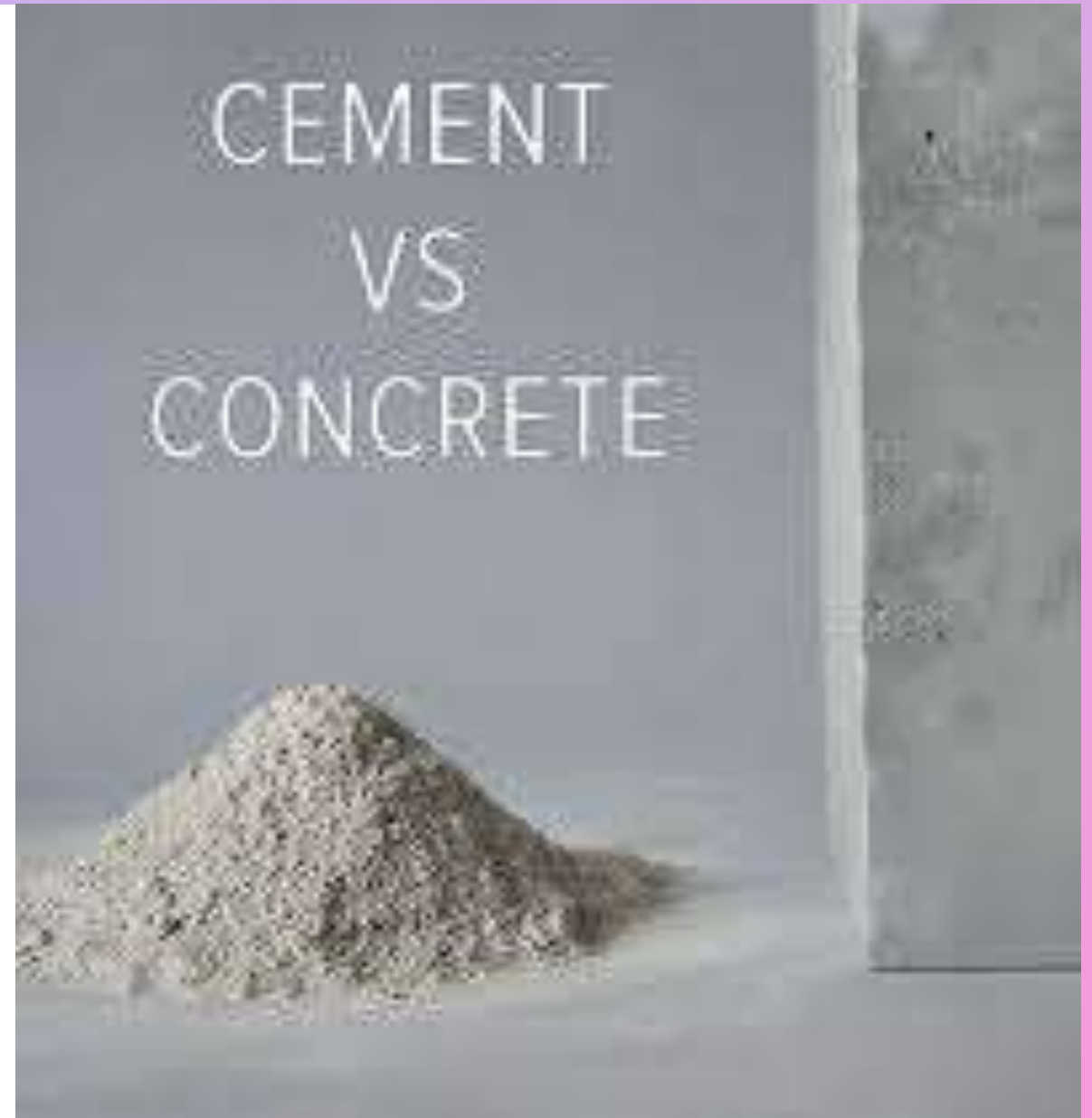
6. Приклади практичного застосування LCA

- **Пакування (харчі/косметика)**
- **Мета:** зменшити вуглецевий слід і відходи.
- **Порівняння:** ПЕТ-пляшка 30% rPET (*перероблений поліетилентерефталат (recycled PET)*) vs скло vs алюмінієва банка.
- **Висновки (типово):** скло має високі викиди через масу/логістику; алюміній добрий при високій частці рециклінгу; ПЕТ виграє за GWP (*Потенціал глобального потепління (Global Warming Potential)*) при rPET $\geq 30-50\%$.
- **Рішення:** тонколист ПЕТ + $\uparrow$ рівень переробленої сировини + оптимізація логістики.



Цемент і бетон

- **Мета:** зменшити GWP будівельних сумішей.
- **Порівняння:** цемент CEM I vs CEM II/CEM III (шлаки/позолани), добавки, оптимізація рецептури.
- **Висновки:** заміщення клінкеру мінеральними добавками найбільше знижує GWP; вплив транспорту другорядний.
- **Рішення:** перехід на рецептури з нижчим «клімкер-фактором», використання EPD (*Екологічна продуктова декларація (Environmental Product Declaration)*) для сертифікацій (LEED/BREEAM).



- Мета:** порівняти маршрути виробництва.
- Порівняння:** BF/BOF (Доменно-конвертерний цикл (*Blast Furnace / Basic Oxygen Furnace*)) (руда + кокс) vs EAF (Електродугова піч (*Electric Arc Furnace*)) (брухт, електрика).
- Висновки:** EAF різко зменшує GWP за умови «зеленої» електрики; за «брудної» генерації — ефект менший.
- Рішення:** збільшення частки брухту, договори на ВДЕ/PPAs (Договори купівлі електроенергії (*Power Purchase Agreements*)), дорожня карта до «зеленого» EAF.

Сталь: первинна
vs електросталь
із брухту



Харчові продукти: коров'яче молоко vs рослинні альтернативи



- **Мета:** лейблінг “carbon footprint per liter”.
- **Порівняння:** молоко vs овес/соє/мигдаль.
- **Висновки:** рослинні напої, як правило, мають нижчий GWP і водний слід; мигдаль — чутливий до вододефіцитних регіонів.
- **Рішення:** локалізація сировини, вибір культур із меншим водним стресом, формули змішаних напоїв.

Текстиль: бавовна vs поліестер vs віскоза



- **Мета:** екомаркування й дизайн-стратегії бренду.
- **Порівняння:** вирощування бавовни (вода/пестициди), виробництво поліестеру (нафта), віскоза (лісові впливи).
- **Висновки:** перероблений поліестер (rPET) часто має нижчий GWP; бавовна — високий водний слід; віскоза — критична до джерел целюлози.
- **Рішення:** перехід на rPET + сертифікати сталого лісу для віскози, програми довговічності та ремонту.

Електроніка: продовження життєвого циклу

- **Мета:** знизити GWP/відходи для ноутбука/смартфона.
- **Порівняння:** "купити новий" vs "ремонт/апгрейд/перепрошивка"; різні акумулятори й екрани.
- **Висновки:** продовження служби на 1–2 роки суттєво зменшує GWP (виробнича стадія домінує).
- **Рішення:** модульність, доступність запчастин, програми trade-in та рециклінгу.



Відходи: спалювання з енерговідновленням vs механіко-біологічна обробка vs полігон



- **Мета:** мінімізувати сумарний вплив системи поводження з ТПВ.
- **Порівняння:** RDF (паливна фракція, отримана з твердих побутових відходів (ТПВ) після їх попередньої підготовки: відділення металів/стекла/інертів, сушіння, подрібнення, інколи підбір зернистості) → WtE (технології перетворення відходів на енергію) (електрика/тепло), МБО (Механіко-біологічна обробка відходів) + компост/відбір вторсировини, полігон з дегазацією.
- **Висновки:** найкращий мікс залежить від локальних факторів; підвищення відбору перероблюваних фракцій зазвичай знижує GWP системи.
- **Рішення:** роздільний збір + МБО + енерговідновлення залишку + контроль метану на полігонах.

Транспорт і логістика



- **Мета:** скоротити вуглецевий слід постачання.
- **Порівняння:** авто → залізниця → водний транспорт; дизель vs LNG (*зріджений природний газ*) vs електрика.
- **Висновки:** залізниця та водний – нижчі $\text{gCO}_2\text{e/ткм}$; електровантажівки виграють на "зеленій" електриці й міських маршрутах.
- **Рішення:** мультимодальні схеми, оптимізація завантаження, електрифікація «останньої милі».

Відновлювана енергетика: сонячна панель mono-Si (монокристалічний кремній) vs thin-film (тонкоплівкова ФЕ-технологія)

- **Мета:** EPD і порівняння постачальників.
- **Порівняння:** різні технології, країни виробництва (мікс електроенергії), рамки/скло.
- **Висновки:** найбільший внесок — енергоємне виробництво; місце виробництва критично впливає на GWP.
- **Рішення:** вибір постачальників із низьковуглецевою електрикою, оптимізація товщин, кінець ЖЦ — переробка.



Громадські будівлі: «зелений» дизайн

- **Мета:** сертифікація (LEED (Міжнародна система «зеленого» сертифікування будівель від U.S. Green Building Council) /BREEAM (Британська система екологічної оцінки будівель від BRE)) і зниження LCA-впливів.
- **Порівняння:** матеріали (бетон/сталь/дерево), теплоізоляція, HVAC (Опалення, вентиляція та кондиціювання (*Heating, Ventilation, Air Conditioning*)), glazing (скління).
- **Висновки:** матеріали з EPD і низьким GWP + ефективний HVAC зменшують сумарний вплив протягом 50-річного циклу.
- **Рішення:** заміщення матеріалів, ВДЕ, системи керування будівлею.

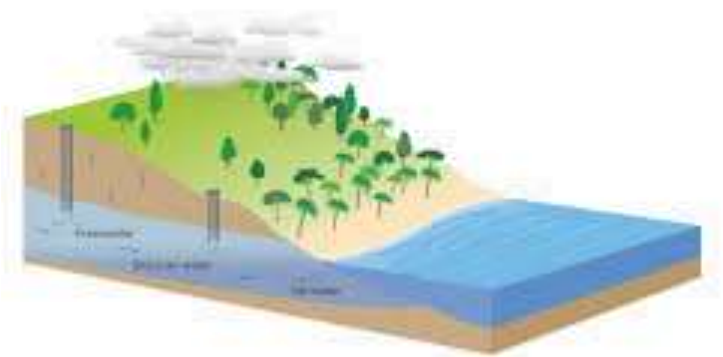


Агро: мінеральне добриво vs повільновивільнюване / органічне



- **Мета:** знизити GWP і еутрофікацію.
- **Порівняння:** різні добрива/норми внесення/точне землеробство.
- **Висновки:** оптимізація N-внесення й інгібітори нітрифікації зменшують N_2O та змив у водні об'єкти.
- **Рішення:** точне дозування, ґрунтові карти, агроIT.

Водопостачання: питна вода з поверхневих джерел vs опріснення



- **Мета:** оцінити енергоємність і вплив на водний дефіцит.
- **Порівняння:** традиційна очистка vs RO (зворотний осмос)-опріснення.
- **Висновки:** RO має вищий енергетичний слід, але критично важливий у дефіцитних регіонах; мікс електрики визначає GWP.
- **Рішення:** ВДЕ-інтеграція, рекуперація тиску, управління попитом.