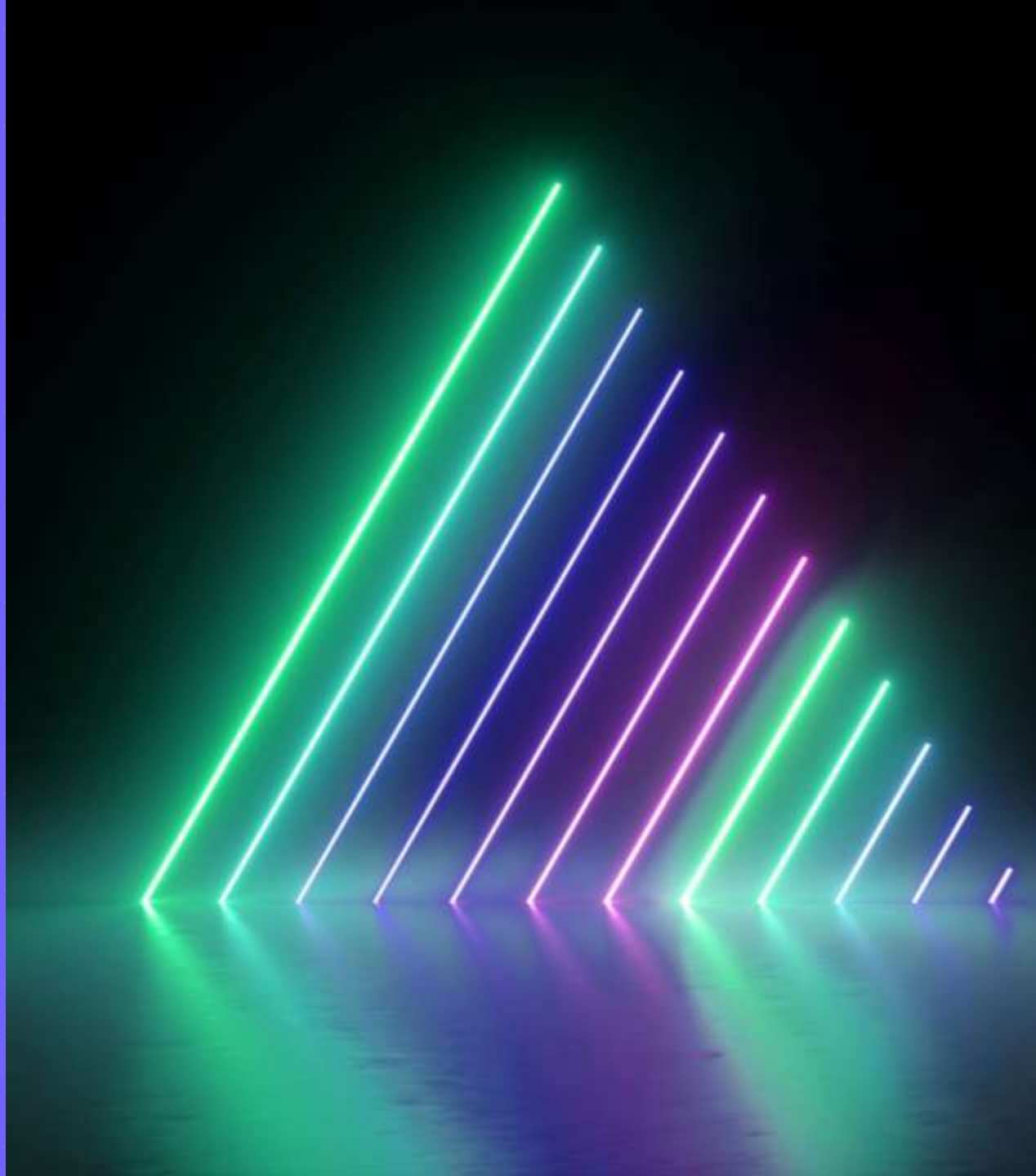


КАРБО- ТА ВОДНИЙ СЛІД
(CF/WF), ЕКОЛОГІЧНИЙ
ВІДБИТОК (EF):
МЕТОДИКИ, ФАКТОРИ
ЕМІСІЙ, НОРМАЛІЗАЦІЯ

ЛЕКЦІЯ №7



- Карбоновий слід (Carbon Footprint, CF)
- Водний слід (Water Footprint, WF)
- Екологічний відбиток (Ecological Footprint, EF)



1. Карбоновий слід (Carbon Footprint, CF)

- Карбоновий слід (**Carbon Footprint, CF**) — це кількісний показник, який відображає загальний обсяг викидів парникових газів (ПГ), прямо або опосередковано спричинених діяльністю людини, організації, продукту чи процесу. Його вимірюють у **тоннах CO₂-еквіваленту (t CO₂e)** — тобто всіх ПГ, приведених до впливу еквівалентного діоксиду вуглецю (CO₂).



Мета оцінки CF:

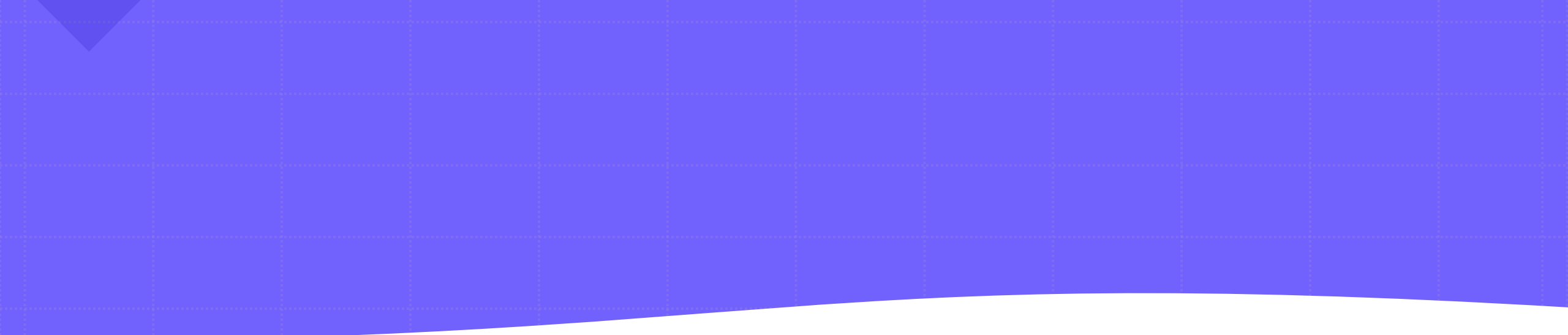
Визначити джерела викидів парникових газів;

Кількісно оцінити вплив на зміну клімату;

Сприяти скороченню викидів через оптимізацію технологій, енергозбереження, зміну поведінкових моделей споживання.

Основні джерела формування карбонового сліду

- Карбоновий слід охоплює як **прямі**, так і **непрямі** викиди. Їх класифікацію запропоновано у **Протоколі з парникових газів (GHG Protocol)**, який поділяє викиди на три категорії (**Scope 1-3**):



Категорія	Тип викидів	Приклади
Scope 1 (прямі)	Утворюються безпосередньо на об'єкті	спалювання палива у котельнях, транспорті, технологічних процесах
Scope 2 (непрямі, енергетичні)	Утворюються при виробництві енергії, що споживається	електроенергія, теплова енергія, куплений пар
Scope 3 (інші непрямі)	Пов'язані з життєвим циклом продукту чи послуги	логістика, закупівлі, відходи, подорожі, споживання продукту

- Таким чином, повна оцінка CF враховує весь життєвий цикл продукту – від видобутку сировини до утилізації (методологія LCA – Life Cycle Assessment).



Методи розрахунку карбонового сліду

- Основні стандарти
- **ISO 14067:2018** – “Carbon footprint of products – Quantification and communication”.
- **GHG Protocol (World Resources Institute, WBCSD)** – базовий міжнародний метод оцінки викидів.
- **PAS 2050:2011 (BSI, UK)** – “Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services”.
- **IPCC Guidelines (2006, 2019 Refinement)** – для визначення національних викидів за секторами.
- **ISO 14064-1/2/3** – система управління викидами на рівні організацій.

Загальна формула

$$CF = \sum (A_i \times EFi)$$

- де

A_i — активність (спожита кількість палива, електроенергії, сировини);

EF_i — фактор емісії (кг CO₂е на одиницю активності).

Приклад

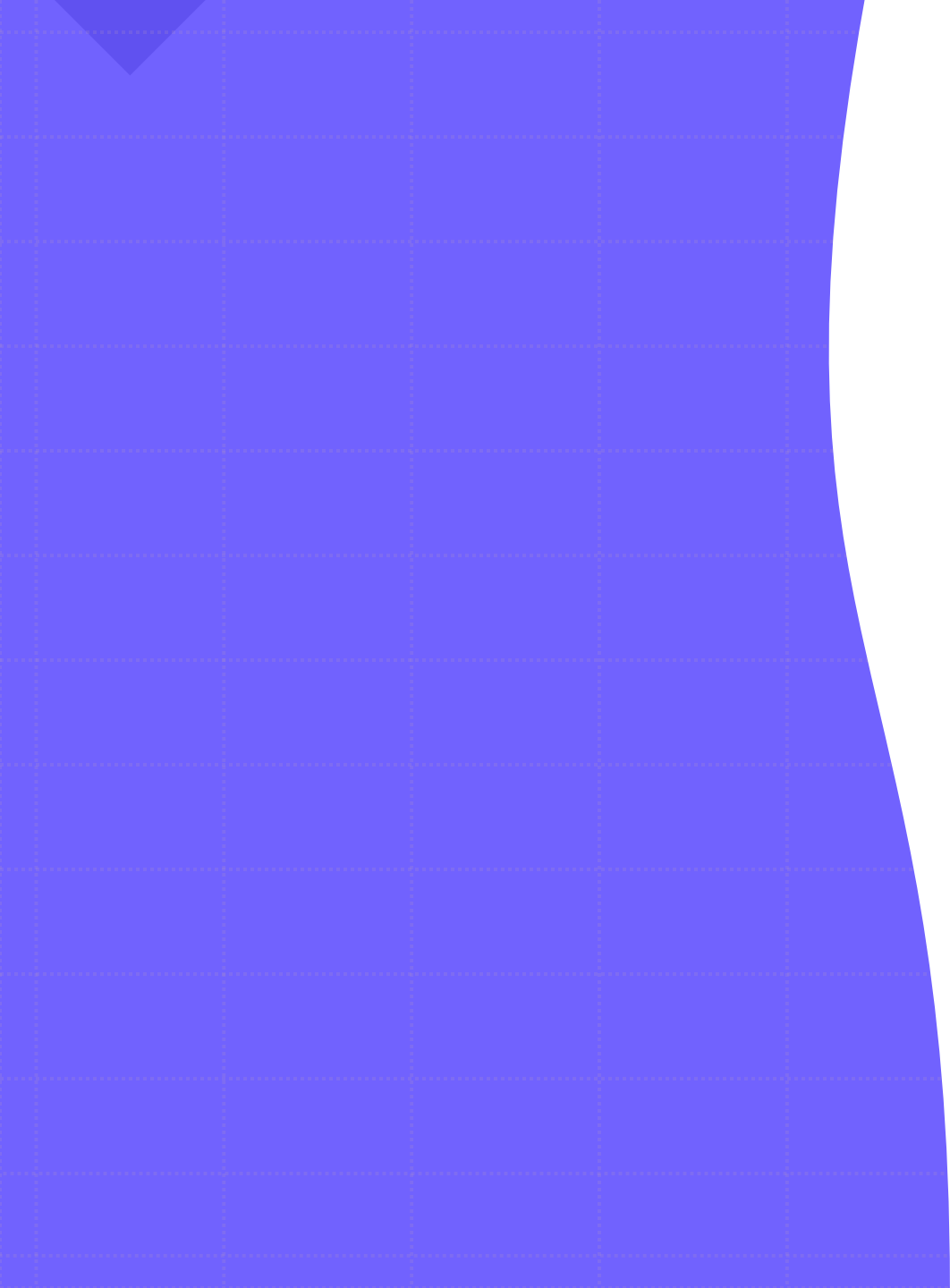
- Якщо підприємство спалює **1000 л** дизельного палива, то CF обчислюється так:

$$\begin{aligned} CF &= 1000 \text{ л} \times 2.68 \text{ кг CO}_2/\text{л} = 2680 \text{ кг CO}_2\text{e} \\ &= 2.68 \text{ т CO}_2\text{e} \end{aligned}$$

Фактори емісій (Emission Factors)

- Фактори емісій визначаються міжнародними або національними базами даних (IPCC, DEFRA, Ecoinvent, EPA).

Вони залежать від типу палива, технології, джерела енергії, країни.



Джерело

Фактор емісії (кг CO₂e /
одиницю)

Бензин

2.31 кг/л

Дизель

2.68 кг/л

Природний газ

1.93 кг/м³

Електроенергія (Україна,
2024)

0.37 кг/кВт·год

Вугілля

2.95 кг/кг

Авіапереліт (1 пасажир·км)

0.15 кг/км

Сфери застосування та рівні аналізу CF

Рівень	Опис	Приклад
Продуктовий (Product CF)	CF одиниці продукції або послуги	1 кг сталі, 1 кВт·год електроенергії, 1 смартфон
Організаційний (Corporate CF)	Загальні викиди підприємства або установи	університет, завод, громада
Національний / регіональний (Country CF)	Викиди країни чи області	Україна: ~240 млн т CO ₂ e/рік (2023)
Індивідуальний (Personal CF)	Особисті викиди внаслідок споживання	середній українець – 4–5 т CO ₂ /рік

Приклади розрахунків для різних секторів

Сектор	Основні джерела викидів	Приблизний CF
Транспорт	спалювання палива, виробництво авто	0.15–0.25 кг CO ₂ /км
Енергетика	спалювання газу, вугілля	0.8–1.2 кг CO ₂ /кВт·год
Сільське господарство	викиди CH ₄ і N ₂ O	10–15% світових викидів
Харчування	ланцюг постачання, упаковка	1 кг яловичини = 27 кг CO ₂ e
ІТ-сектор	дата-центри, пристрої, логістика	1 смартфон ≈ 70 кг CO ₂ e

Нормалізація та інтерпретація результатів

- **Нормалізація** дозволяє порівняти різні об'єкти (наприклад, викиди на 1 т продукції або 1 кВт·год).

Це дає змогу оцінити ефективність і встановити **ключові показники ефективності (KPIs)** для управління викидами.

Інтерпретація:

Високий CF → високий потенціал для зменшення;

Порівняння з галузевими нормами (BREF/BAT);

Оцінка відповідності ЦСР 13 "Боротьба зі зміною клімату".

Практичні інструменти та бази даних



Carbon Trust Calculator – онлайн-калькулятор CF;



Ecoinvent / GaBi / SimaPro – професійні LCA-платформи;



CoolClimate (UC Berkeley) – персональний CF;

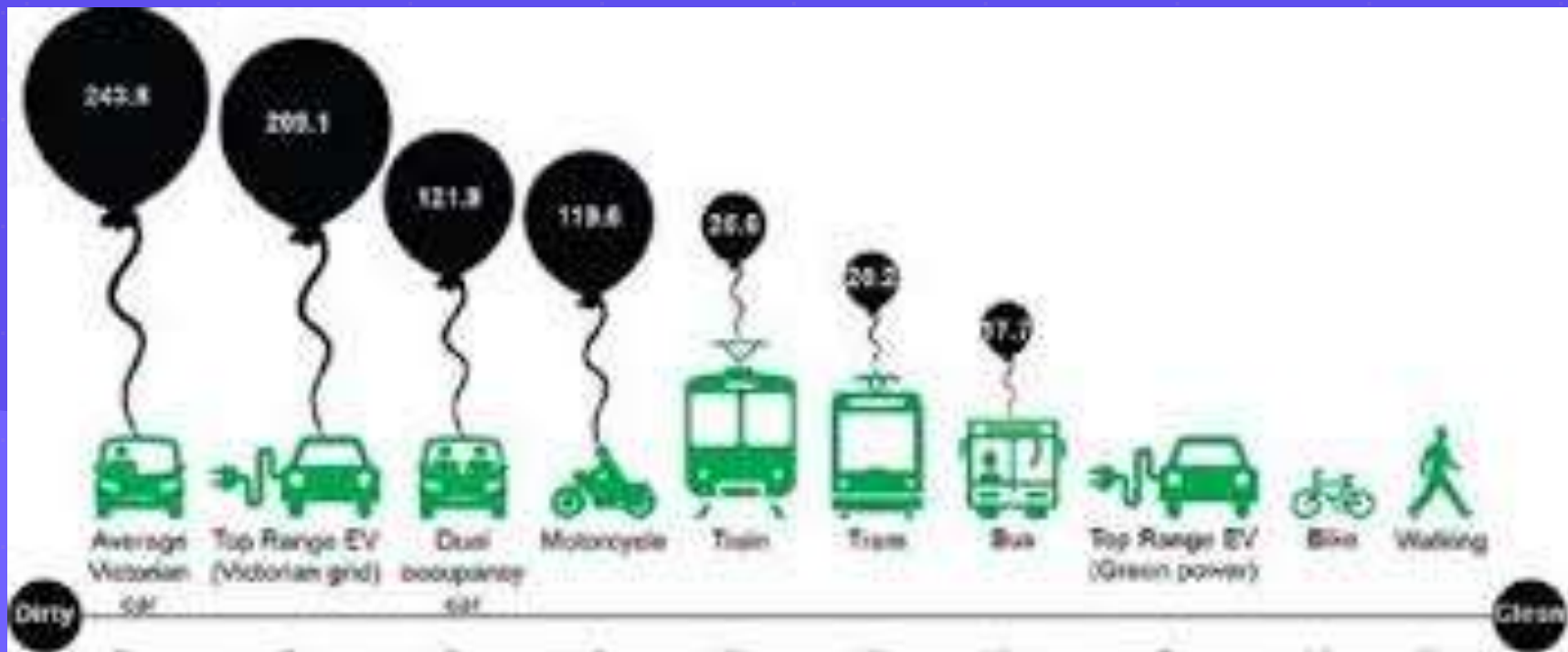


DEFRA Emission Factors Database (UK) – офіційні коефіцієнти емісій.

Шляхи зменшення карбонового сліду

Енергетика:

- перехід на ВДЕ (сонячна, вітрова, біоенергетика);
- енергоефективні технології (LED, ізоляція, рекуперація).



Транспорт:

електромобілі,
громадський
транспорт,
велосипеди;

скорочення
авіаперельотів.

Споживання:

перевага місцевих і сезонних продуктів;

зменшення споживання м'яса;

переробка та повторне використання речей.

система управління ISO
14064/14001;

Організації:

компенсація викидів через
carbon offset projects
(лісозаліснення, біогаз,
відновлювана енергетика).

Приклади з практики

Об'єкт	CF	Заходи зі скорочення
Університет «Житомирська політехніка» (умовно)	500 т CO ₂ e/рік	LED-освітлення, перехід на “зелений тариф”
ЄС середнє господарство	7 т CO ₂ e/рік	сортування, зелений транспорт
Глобальний рівень	51 млрд т CO ₂ e (2022)	досягнення вуглецевої нейтральності до 2050 року (EU Green Deal)

ПРАКТИЧНИЙ КЕЙС

Приклад розрахунку карбонового
сліду Державного університету
«Житомирська політехніка»



Мета та об'єкт оцінювання

- **Мета:** оцінити річний карбоновий слід університету як організації (Score 1–3)

Об'єкт: кампус Державного університету «Житомирська політехніка»

Період: 2024 рік

Одиниця виміру: тонни CO₂-еквіваленту (tCO₂e)

Межі системи (System boundaries)

Категорія

Зміст

Приклади

Score 1 (прямі)

Паливо, що спалюється
на території

котельня, службовий
транспорт

**Score 2 (непрямі,
енергетичні)**

Електроенергія,
опалення, що купується

споживання з міської
мережі

Score 3 (інші непрямі)

Подорожі студентів,
закупівлі, відходи

ком'ютинг, папір,
харчування

Вхідні дані (Activity Data)

Джерело викидів	Обсяг споживання за рік	Фактор емісії	Джерело коефіцієнта	Розрахунок CF
Електроенергія	450 000 кВт·год	0.37 кг CO ₂ /кВт·год	[IPCC/DEFRA, 2023]	$450000 \times 0.37 = 166\,500 \text{ кг} = \mathbf{166.5 \text{ т CO}_2\text{e}}$
Централізоване опалення (тепло)	1 200 Гкал	210 кг CO ₂ /Гкал	Міндовкілля, 2023	$1\,200 \times 210 = \mathbf{252 \text{ т CO}_2\text{e}}$
Службовий автопарк (дизель)	5 000 л	2.68 кг CO ₂ /л	IPCC, 2019	$5\,000 \times 2.68 = \mathbf{13.4 \text{ т CO}_2\text{e}}$
Папір (закупівля)	2 000 кг	1.3 кг CO ₂ /кг	Ecoinvent, 2020	$2\,000 \times 1.3 = \mathbf{2.6 \text{ т CO}_2\text{e}}$
Відходи (змішані, на полігон)	30 т	100 кг CO ₂ e/т	EPA, 2022	$30 \times 0.1 = \mathbf{3.0 \text{ т CO}_2\text{e}}$
Ком'ютинг студентів та персоналу (поїздки на авто/автобус)	300 осіб $\times$ 10 км $\times$ 200 днів = 600 000 км	0.18 кг CO ₂ /км	DEFRA, 2023	$600000 \times 0.18 = \mathbf{108 \text{ т CO}_2\text{e}}$

Підсумковий розрахунок

Категорія	CF (т CO ₂ e)	Частка, %
Score 1 (паливо, транспорт)	13.4	3%
Score 2 (електроенергія, тепло)	418.5	80%
Score 3 (закупівлі, відходи, мобільність)	113.6	17%
Загальний карбоновий слід університету	545.5 т CO₂e / рік	100%

Інтерпретація результатів

- Основна частка (80%) припадає на **енергоспоживання будівель**, особливо тепло.
- 17% – **непрямі викиди**, пов'язані з мобільністю та матеріалами.
- Найменша частка (3%) – **прямі викиди** від транспорту університету.
- Якщо університет має 4 000 студентів і працівників, то в середньому **CF** становить ≈ 0.14 т **CO₂e** на одну особу на рік.

Варіанти скорочення викидів

Напрям	Заходи	Орієнтовне скорочення
Енергоефективність будівель	утеплення, енергоощадне освітлення (LED), модернізація вікон	-15% CF
Відновлювана енергетика	сонячні панелі на дахах корпусів	-10% CF
Еко-мобільність	велопарковки, громадський транспорт, онлайн-заняття	-8% CF
Цифровізація документообігу	зменшення споживання паперу на 50%	-1% CF
Сортування та вторинна переробка відходів	програма "Zero Waste Campus"	-2% CF

- За реалізації цих заходів університет може знизити свій CF на приблизно **20–25% до 2030 року**, що відповідає вимогам Європейського зеленого курсу та ЦСР 13 “Climate Action”.

2. Водний слід (Water Footprint, WF)

- **Водний слід (Water Footprint, WF)** – це інтегральний показник, який характеризує загальний обсяг прісної води, використаної **безпосередньо та опосередковано** для виробництва товарів і послуг, спожитих індивідом, організацією, підприємством або країною.
- Показник вимірюється у **кубічних метрах (м^3)** або **літрах (л)** і охоплює весь **життєвий цикл продукту** – від вирощування сировини до утилізації.

- Ініціатор концепції – професор Ар'єн Гекстра (A.Y. Hoekstra), Університет Твенте, Нідерланди (2002).
Офіційна методика – **Water Footprint Network (WFN, 2011)** та стандарт **ISO 14046:2014**
“Environmental management – Water footprint – Principles, requirements and guidelines”.



Оцінка ВОДНОГО СЛІДУ ДОЗВОЛЯЄ:

визначити кількість води, необхідну для виробництва продукції чи послуги;

виявити **“водні гарячі точки”** (water hotspots) – етапи з найбільшим споживанням або забрудненням води;

планувати раціональне водокористування;

оцінити відповідність до ЦСР 6 **“Чиста вода та належні санітарні умови”**.

Водний слід складається з **трьох компонентів**:

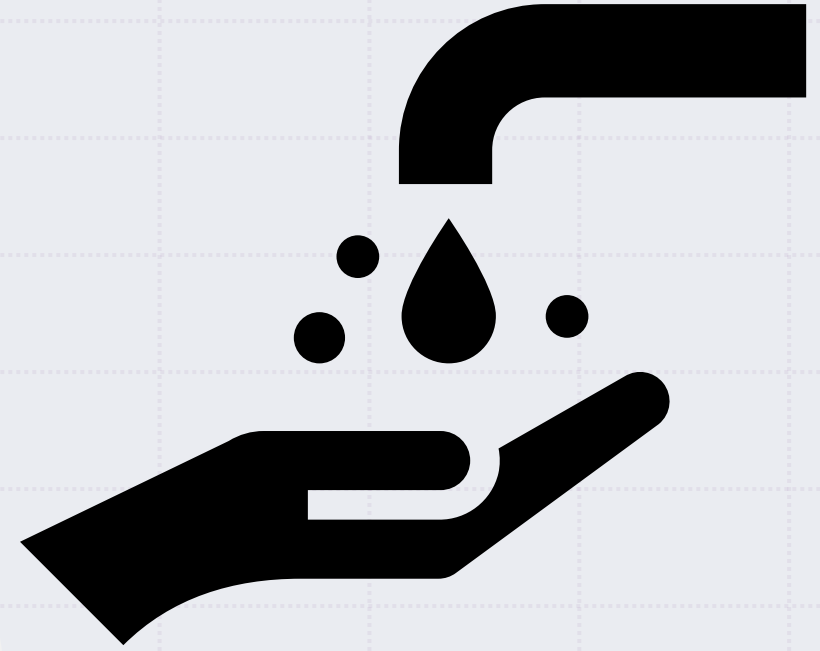
Компонент	Позначення	Суть	Приклад
Зелений (WF_{green})	використання дощової води	Опади, які засвоюють рослини	вирощування зернових культур
Синій (WF_{blue})	використання поверхневої та підземної води	Іригація, технологічне охолодження	полив, промисловість
Сірий (WF_{grey})	забруднення води	Обсяг води, необхідний для розведення забруднювачів до нормативних концентрацій	стоки підприємств, добрива

Загальна формула:

$$WF_{total} = WF_{green} + WF_{blue} + WF_{grey}$$

Основні етапи оцінки WF (за ISO 14046 та WFN)

- **1. Визначення мети і меж оцінки**
 - що аналізується (продукт, організація, країна);
 - період і територія;
 - джерела води.
- **2. Збір даних (Inventory Analysis)**
 - кількість використаної води, джерела, забруднювачі.
- **3. Обчислення WF_{green} , WF_{blue} , WF_{grey}**
 - застосування формул і коефіцієнтів.
- **4. Інтерпретація результатів**
 - виявлення найбільш водомістких етапів;
 - оцінка стійкості водокористування.



Приклад розрахунку
(аграрний продукт).
Продукт: 1 кг пшениці
в Україні (умовні дані
для Полісся)

- Отже, для виробництва 1 кг пшениці потрібно 1,3 м³ прісної води, більша частина якої є "зеленою" (опадна).

Компонент	Обсяг води	Метод розрахунку	Приклад
$WF_{(green)}$	900 л	опадн, використані рослиною	дощова вода, поглинена ґрунтом
$WF_{(blue)}$	250 л	зрошення, поверхнева вода	полив
$WF_{(grey)}$	150 л	розведення азотних добрив	очищення стоку
Загальний WF	1 300 л / кг пшениці	—	—

Приклади водного сліду різних продуктів

- Україна входить до групи країн із відносно високим "віртуальним водним експортом", оскільки експортує водомісткі продукти (зерно, олія).

Продукт / Послуга	Водний слід, л	Основне джерело споживання води
1 кг яловичини	15 400	корм, пасовища, забруднення
1 чашка кави (125 мл)	140	виращування кавових зерен
1 кг рису	2 500	іригація
1 футболка з бавовни	2 700	виращування бавовни
1 аркуш паперу А4	10	целюлозне виробництво
1 смартфон	900	охолодження та промисловість
1 літр молока	1 000	корм і водопій тварин



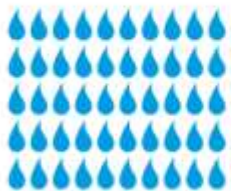
Водний Слід

"Віртуальний" вміст води у продуктах



650 Хліб для тостів
літрів води на одну упаковку (500 г)

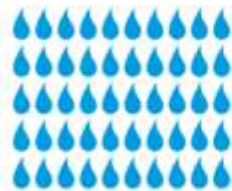
Виробництво пшениці потребує 1300 л води на кілограм (в середньому в світі). Один шматок хліба важить 30 г, тобто має водний відбиток у 40 л. Якщо на хліб ще покласти шматок твердого сиру (10 г), то разом це буде потребувати 90 л води



2500 Гамбургер
літрів води на один гамбургер (150 г яловичини)



840 Кава
літрів води на один кавник (750 мл)



2500 Твердий сир
літрів води на один великий шматок (500 г)



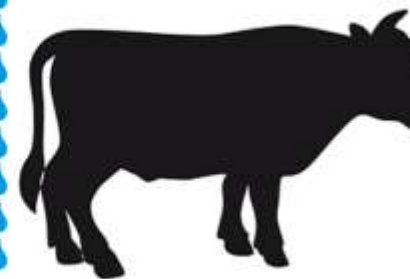
90 Чай
літрів води на один заварний чайник (750 мл)



1000 Молоко
літрів води на один літр



4650 Яловичина
літрів води на одну відбивну (500 г)



найвищий водний слід на душу населення



США

19%

залежність від імпорту



Греція

35%

залежність від імпорту



Малайзія

28%

залежність від імпорту



Італія

51%

залежність від імпорту



Тайланд

8%

залежність від імпорту

водний слід різних продуктів



24,000 літрів

1 кг шоколаду



15,500 літрів

1 кг яловичини



4,400 літрів

1 кг оливок



1,500 літрів

1 кг цукру



140 літрів

1 чашка кави

Сірий водний слід (WF_{grey}): формула

- $WF_{grey} = (C_{max} - C_{nat})L$

- де:

- L – маса забруднювача (кг/рік),

- C_{max} – допустима концентрація (мг/л),

- C_{nat} – природна концентрація фону (мг/л).

- **Приклад:**

- Якщо з поля вимивається 30 кг азоту, а допустимий вміст у воді 10 мг/л, тоді

- $WF_{grey} =$

$$\frac{30}{(10 - 1)} = 3.33 \text{ м}^3 / \text{рік}$$

Шляхи зменшення водного сліду

Напрямок	Заходи	Очікуваний ефект
Інфраструктура	заміна сантехніки на водозберігаючу, лічильники, контроль витоків	–15% WF
Озеленення	використання посухостійких видів, зрошення дощовою водою	–10% WF
Освітні кампанії	екопросвіта студентів і персоналу	–5% WF
Вторинне використання води	очищення і повторне використання стічних вод	–20% WF
Віртуальна вода	скорочення споживання водомістких товарів (м'яса, кави, паперу)	–8% WF

ЯКИЙ
ТВІЙ
ВОДНИЙ
СЛІД?



Прості кроки на щодень



не вмикай кран
на повну

утримуй у справному
стані труби, крани і бачок



повністю перекривай кран



чисть зуби зі склянкою води



- повністю завантажуй
пральну та
посудомийну
машини

приймай душ
замість ванни



Корисні звички

мий посуд
у закритій
раковині



використовуй повторно воду



поливай рослини
дощовою водою



використовуй
безфосфатні мийні
засоби (натуральні —
гірчиця та сода)



Інструменти розрахунку WF

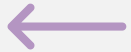
WaterStat Database (WFN) – глобальні коефіцієнти для 1300 продуктів.

ISO 14046 calculators – офіційні калькулятори WF для підприємств.

AQUASTAT (FAO) – статистика водних ресурсів країн.

Hoekstra et al., 2011 – “The Water Footprint Assessment Manual” – базове методичне джерело.

Інтерпретація результатів



Високий WF вказує на **неефективне водокористування або забруднення**.

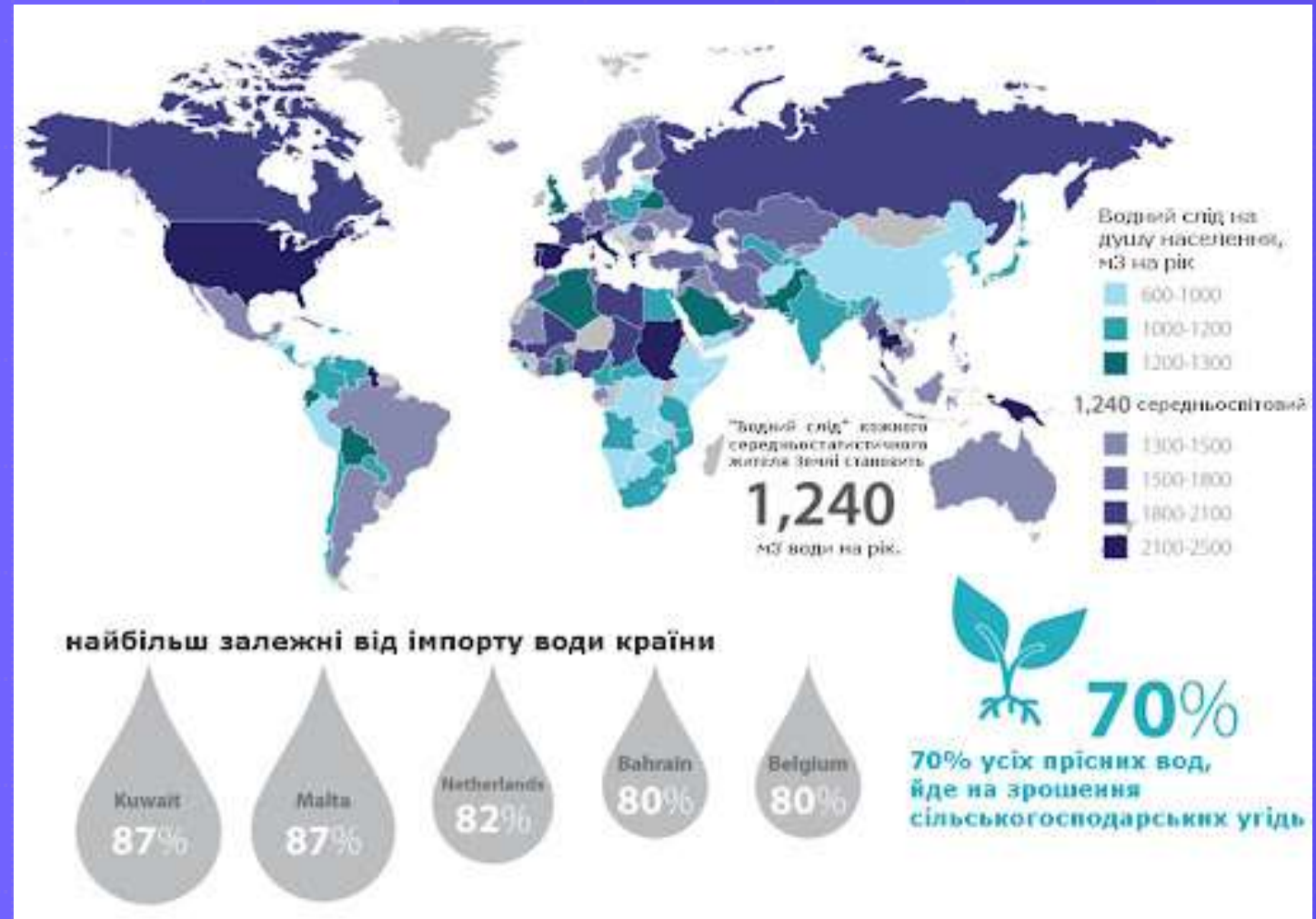


WF має аналізуватись **у контексті регіональної водної стресовості (Water Stress Index)**.



Для оцінки сталості WF застосовується **порівняння з доступним водним потенціалом басейну**.

- **Україна:** середній WF $\approx 1800 \text{ м}^3/\text{особу}/\text{рік}$
Світ: $\approx 1385 \text{ м}^3/\text{особу}/\text{рік}$
ЄС: $\approx 2500 \text{ м}^3/\text{особу}/\text{рік}$
→ Україна має помірний рівень водного сліду, але високий сірий компонент через агросектор.



Водний слід організації (на прикладі університету)

- На одного студента (~4000 осіб) припадає $\approx 4.25 \text{ м}^3/\text{рік}$ спожитої та забрудненої води. Цей показник можна порівняти із середнім WF університетів ЄС ($\sim 3 \text{ м}^3/\text{особу}$).

Джерело споживання	Річний обсяг (м^3)	WF-компонент	Розрахунок WF (м^3)
Питна вода, санітарія	6 000	WF_{blue}	6 000
Полив зелених зон	2 000	WF_{blue}	2 000
Втрати через витоки	500	WF_{blue}	500
Відходи (стоки)	8 500	WF_{grey}	8 500
Загальний WF університету	—	—	17 000 $\text{м}^3/\text{рік}$

3. Екологічний відбиток (Ecological Footprint, EF)

- Екологічний відбиток (EF) – це інтегральний індикатор, який показує, **скільки біопродуктивної площі** (сільськогосподарської, лісової, водної тощо) потрібно для забезпечення **ресурсних потреб** людини, спільноти, країни або підприємства та **поглинання утворених відходів**, зокрема CO₂.
- Його вимірюють у **глобальних гектарах (gha)** – одиниці, яка враховує як площу, так і продуктивність екосистеми.

- Концепція запропонована W. Rees і M. Wackernagel (Університет Британської Колумбії, 1994).

Розвивається організацією

Global Footprint Network (GFN).

- **Суть:** EF = "екологічний слід споживання" – попит людини на біокапаситет планети.



Принципи оцінки EF

- **1. Системність:** охоплення всіх основних сфер життєдіяльності.
- **2. Баланс ресурси ↔ споживання:** скільки площ потрібно для відновлення ресурсів і поглинання відходів.
- **3. Нормалізація:** усі показники перераховуються у *глобальні гектари* (gha) для порівнянності між країнами.
- **4. Порівняння з біокапаситетом (BC):**
 - $EF < BC \rightarrow$ екологічний резерв;
 - $EF > BC \rightarrow$ екологічний дефіцит.



EF складається з шести основних компонентів:

№	Компонент EF	Що враховується	Приклад
1	Сільськогосподарські землі	виращування продовольства, кормів, біопалива	площі під пшеницею, кукурудзою
2	Пасовища	виробництво м'яса, молока, вовни	пасовища для ВРХ, овець
3	Лісові угіддя	деревина, папір, біомаса, поглинання CO ₂	площі лісів
4	Рибні ресурси	вилов риби, аквакультура	продукція морів і річок
5	Забудована територія	інфраструктура, міста, дороги	урбанізація, індустріальні зони
6	Вуглецевий компонент	площа лісів, потрібна для поглинання CO ₂	компенсація емісій CF

- Таким чином, EF об'єднує **CF + WF + земельні ресурси**, створюючи інтегральну оцінку антропогенного навантаження.



Основна формула

$$EF = \sum_{i=1}^n (C_i / P_i) \times EQF_i$$

- де:
- C_i —споживання ресурсу i (наприклад, т зерна, м³ деревини);
- P_i —продуктивність екосистеми (виробіток на 1 га);
- EQF_i —еквівалентний фактор, що враховує біопродуктивність певного типу земель.

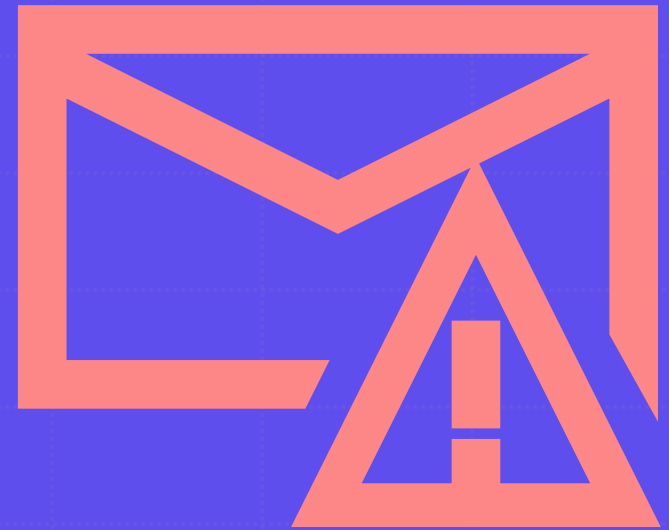
Біокапаситет (BC)

$$BC = \sum_{i=1}^n (A_i \times YF_i \times EQF_i)$$

- де:
- A_i — площа певного типу земель (га);
- YF_i — коефіцієнт урожайності (yield factor);
- EQF_i — еквівалентний фактор.
- **Одиниці виміру:** *глобальні гектари (gha)* — 1 gha відповідає середній біопродуктивності планети.

▶ Для розрахунку
EF
використовують:

- **FAOstat** (аграрна статистика);
- **IEA** (енергетика, викиди CO₂);
- **World Bank / UN Data**;
- **GFN National Footprint Accounts.**



Приклад розрахунку EF (на рівні країни)

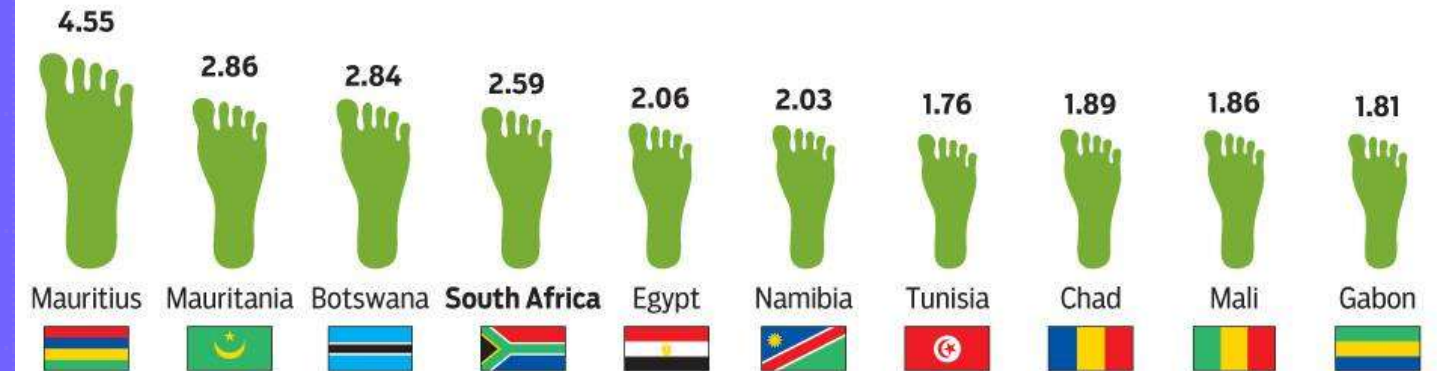
Компонент	EF (gha/особу)	Частка, %	Джерело навантаження
Вуглецевий	1.8	60	Використання енергії, транспорт
Сільськогосподарський	0.7	23	Продовольство, біопаливо
Пасовища	0.3	10	Тваринництво
Лісові угіддя	0.15	5	Деревина, папір
Рибні ресурси	0.05	2	Виллов
Забудована територія	0.05	—	Міста, дороги
Загальний EF (Україна)	≈ 3.0 gha/особу	100%	—

- Біокапаситет України ≈ 3.2 gha/особу, отже наразі маємо екологічний резерв. Проте для глобального рівня EF ≈ 2.8 gha/особу, а біокапаситет планети — лише ≈ 1.6 gha/особу → планета в екологічному дефіциті $\approx 70\%$.

Top 10 countries with the biggest ecological footprint per person



Top 10 African countries with the biggest ecological footprint per person



* United Arab Emirates

Source: WWF

Graphics24

Екологічний дефіцит і “День екологічного боргу”

- Екологічний дефіцит = $EF - BC$
- Якщо $EF > BC \rightarrow$ перевищення біокапаситету (overshoot).
- Якщо $EF < BC \rightarrow$ резерв сталості.
- **Earth Overshoot Day** — дата, коли людство вичерпує ресурси планети за поточний рік.
- 2023 рік — **2 серпня**.
- Україна — **8 липня 2023 р.**
- Після цієї дати людство “живе в борг” із точки зору природних ресурсів.

Взаємозв'язок EF з іншими показниками

Показник	Що вимірює	Взаємозв'язок
CF (Carbon Footprint)	Викиди CO ₂ e	Входить до складу EF як “вуглецевий компонент”
WF (Water Footprint)	Використання прісної води	Опосередковано впливає через аграрний EF
Ecological Deficit/Reserve	Порівняння EF і ВС	Ключ до оцінки сталого розвитку
GPI / HDI / SDG Index	Соціально-економічні індикатори	EF — екологічна складова сталого добробуту

Приклад: Екологічний відбиток університету

- Нормалізація:

$$\begin{aligned} EF_{per\ capita} &= \frac{EF_{total}}{N_{осіб}} \\ &= \frac{9.6}{4000} = 0.0024 gha \\ &\text{/особу} \end{aligned}$$

КАТЕГОРІЯ	РЕСУРС	ЕКВІВАЛЕНТНА ПЛОЩА (GHA)	ЧАСТКА, %
Енергоспоживання	електроенергія, опалення	5.2	55
Транспорт	службовий, студентський	2.0	21
Харчування	споживання їжі (м'ясо, овочі)	1.5	16
Відходи	утилізація, полігони	0.6	6
Інфраструктура	забудована площа	0.3	2
Загальний EF університету	—	9.6 gha/рік	100

Нормалізація EF дає змогу:

порівнювати різні країни, регіони,
організації;

оцінювати прогрес у скороченні
впливу;

інтегрувати показник у систему
екологічного менеджменту **ISO
14001/EMAS.**

Критерії інтерпретації:

Співвідношення EF/BC	Стан екосистеми	Інтерпретація
< 0.8	Резерв	Екологічно стійкий розвиток
0.8-1.2	Баланс	Гранична межа сталості
> 1.2	Дефіцит	Перевищення біокапаситету, деградація ресурсів

Практичне значення EF

Використовується для **екологічного обліку національних ресурсів**;

Дає можливість визначати **сталий рівень споживання**;

Служить основою для **еколого-економічного планування**;

Застосовується у звітах корпоративної сталості (**CSR, ESG**).

Інструменти для оцінки EF

- **Global Footprint Network Calculator** – <https://www.footprintnetwork.org>
- WWF Living Planet Report – глобальні щорічні огляди EF і BC;
- Ecological Footprint Explorer – онлайн-база національних рахунків EF (1990–2023).
- ISO 14040/44 + LCA Software (SimaPro, OpenLCA) – для деталізованого аналізу продуктів.

Заходи зі зменшення EF

Сфера	Приклади дій	Очікуваний ефект
Енергетика	Відновлювані джерела, енергоефективність	-20% EF
Транспорт	Велосипеди, громадський транспорт, карпулінг	-10%
Харчування	Менше м'яса, локальні продукти, сезонність	-8%
Матеріали	Переробка, "Zero Waste Campus"	-5%
Землекористування	Зелені зони, фітомеліорація	-5%

ПРАКТИЧНИЙ КЕЙС

Екологічний слід харчування студентів

Завдання:

Визначити Еґ продуктів (м'ясо, овочі, зернові, молоко тощо).

Розрахувати Еґ типового тижневого харчування.

Порівняти "м'ясне", "змішане" і "вегетаріанське" меню.

Оцінити потенціал зменшення Еґ при переході на рослинне меню.

Екологічний відбиток основних продуктів харчування

№	Продукт	Екологічний відбиток (EF), gha/kg
1	Яловичина (м'ясо ВРХ)	0.040-0.060 gha/kg
2	Свинина	0.015-0.025 gha/kg
3	М'ясо птиці (курятина)	0.010-0.015 gha/kg
4	Риба (аквакультура)	0.012-0.020 gha/kg
5	Молоко (коров'яче)	0.004-0.006 gha/л
6	Сир (твердий)	0.020-0.030 gha/kg
7	Яйця	0.007-0.010 gha/kg
8	Пшениця	0.002-0.003 gha/kg
9	Кукурудза	0.0018-0.0025 gha/kg
10	Рис	0.003-0.004 gha/kg
11	Картопля	0.001-0.0015 gha/kg
12	Овочі (середнє)	0.001-0.002 gha/kg
13	Фрукти (середнє)	0.0015-0.003 gha/kg
14	Бобові (соя, горох, квасоля)	0.001-0.002 gha/kg
15	Хліб (пшеничний)	0.003 gha/kg
16	Цукор (тростинний/буряковий)	0.002-0.003 gha/kg
17	Олія соняшникова	0.004-0.005 gha/л
18	Кава	0.008-0.010 gha/kg
19	Шоколад (плитка)	0.020-0.030 gha/kg
20	Вино / пиво	0.002-0.004 gha/л