



# Вуглецевий слід енергетичних систем

Вуглецевий слід — це кількість парникових газів, що викидаються під час виробництва енергії. Він вимірюється у грамах  $\text{CO}_2$ -еквіваленту на кіловат-годину. Цей показник дозволяє оцінити вплив різних енергетичних систем на зміну клімату.

Розуміння вуглецевого сліду допомагає рухатися до чистих, енергоефективних технологій і сприяє зменшенню викидів парникових газів у глобальній атмосфері.

# Життєвий цикл енергетичних систем і вуглецевий слід

## Етапи процесу

- Видобуток палива
- Транспортування
- Переробка або збагачення
- Виробництво електроенергії
- Утилізація відходів

## Викиди на кожному етапі

Кожен із цих кроків супроводжується викидами CO<sub>2</sub> та інших парникових газів. Загальний вуглецевий слід формується сумарно за всіма стадіями.

Оптимізація на будь-якому етапі може суттєво знизити екологічний вплив енергосистеми.

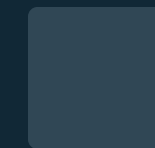


# Вуглецевий слід викопного палива



## Вугілля

Генерує близько 820 г  $\text{CO}_2$ -екв/кВт·год — найбільше серед викопних джерел.



## Нафта

Викидає близько 700 г  $\text{CO}_2$ -екв/кВт·год при спалюванні.



## Природний газ

Має більш низький вуглецевий слід — близько 490 г  $\text{CO}_2$ -еквіваленту.

Викопне паливо веде до значного забруднення атмосферного повітря та сприяє загальному потеплінню клімату.

# Вуглецевий слід атомної енергетики

## Низький слід

Після будівництва і видобутку урану — близько 12 г CO<sub>2</sub>-екв/кВт·год.

## Експлуатація

Мінімальні прямі викиди парникових газів під час роботи.

## Екологічні ризики

Проблеми з утилізацією радіоактивних відходів залишаються серйозним викликом.



# Вуглецевий слід гідроенергетики



# Вуглецевий слід вітроенергетики

## Виробництво

Основний вуглецевий слід від виготовлення і транспортування  
.турбін

## Експлуатація

.Практично без викидів парникових газів під час роботи

## Утилізація

.Складнощі з переробкою композитних лопатей турбін





# Вуглецевий слід сонячної енергетики

1

## Виробництво панелей

Генерує більшість викидів — близько 48 г CO<sub>2</sub>-екв/кВт·год.

2

## Експлуатація

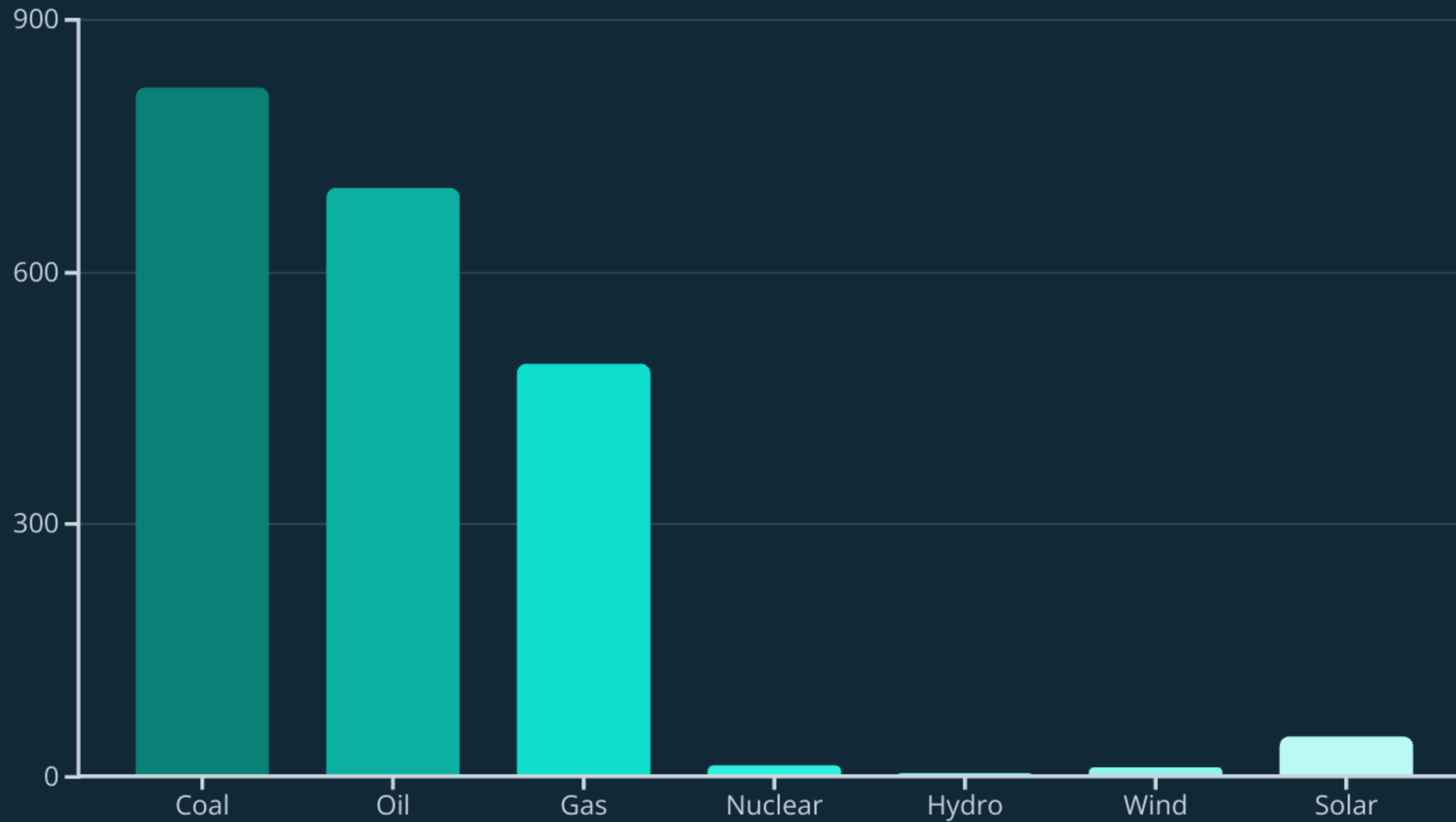
Не виробляє парникових газів під час роботи.

3

## Утилізація

Проблеми з токсичними речовинами у відпрацьованих панелях.

# Порівняння вуглецевого сліду джерел енергії



Графік наочно демонструє різницю в екологічності між джерелами енергії. Відновлювані та ядерна енергетика мають найнижчий вуглецевий слід.

# Шляхи зниження вуглецевого сліду



# Методики розрахунку вуглецевого сліду

## Оцінка життєвого циклу (LCA)

Враховує всі етапи: видобуток, виробництво обладнання, транспортування, експлуатацію та утилізацію.

## Показник CO<sub>2</sub>-еквівалент

Об'єднує різні парникові гази в єдину міру, враховуючи їхній потенціал глобального потепління (GWP).

## Спеціалізовані бази даних

IPCC, Ecoinvent, GREET — основні джерела даних і моделей для розрахунків вуглецевого сліду.



# Глобальний контекст та міжнародні ініціативи

## Паризька угода

Забезпечує обмеження глобального потепління до 1,5–2 °C завдяки зобов'язанням країн щодо скорочення викидів.

## Європейський Зелений курс

Мета — досягти кліматичної нейтральності до 2050 року через трансформацію економіки та енергетики.

## Система торгівлі квотами EU ETS

Стимулює підприємства знижувати викиди, продаючи надлишок емісій на ринку, що впливає на стійкість.

Такі ініціативи формують світові стандарти та мобілізують ресурси для переходу до чистої енергетики.



# Вуглецевий слід енергетики в Україні



## Високий вуглецевий вплив

Через домінування вугілля та газу у виробництві електроенергії та тепла.



## Роль атомної енергетики

Забезпечує майже половину електроенергії без суттєвих викидів CO<sub>2</sub>.



## Потенціал ВДЕ

Великі можливості для розвитку сонячної, вітрової та біоенергетики, але потрібні інвестиції й модернізація.



# Інновації та майбутні технології для зниження вуглецевого сліду



## Воднева енергетика

Перспективний заміник викопного палива для транспорту і промисловості.



## Смарт-мережі

Оптимізація виробництва і споживання електроенергії у реальному часі.



## Зберігання енергії

Батареї та гідроакумулятори стабілізують мережу і підтримують інтеграцію ВДЕ.



## Нові матеріали і BECCS

Низьковуглецеві будівельні матеріали і біоенергетика з уловлюванням CO<sub>2</sub> допомагають досягти негативних викидів.

# Соціальний та економічний вимір

## 1 Соціальний вимір

Перехід до чистої енергетики має не лише екологічний, а й **соціальний** вимір.

Наприклад, **енергетична бідність** — проблема, коли люди не можуть дозволити собі достатнє опалення чи електроенергію.

## 3 Економічні механізми

Економічні механізми, як-от "**зелений тариф**", **податки на викиди** чи субсидії на ВДЕ, можуть стимулювати бізнес і населення до екологічного вибору.

## 2 Поводження споживачів

**Поводження споживачів** відіграє важливу роль: використання енергоощадної техніки, зменшення споживання, вибір "зелених" постачальників.

## 4 Соціальні виклики

Водночас закриття шахт чи ТЕС створює соціальні виклики — потрібні програми перекваліфікації та нові робочі місця.

# Висновки та перспективи

## Ключовий фактор

Вуглецевий слід визначає вплив енергетики на клімат.

## Необхідність змін

Перехід до низьковуглецевих технологій є пріоритетом.

## Роль науки і суспільства

Інвестиції у дослідження та підвищення обізнаності важливі для майбутнього.

