

Залучення приватних інвестицій у чисту електроенергію

Оцінка потенційного прибутку фонду

Франк Майсснер, Роберт Карр & Георг Захманн

18.02.2025

SPONSORED BY THE



Federal Ministry
of Education
and Research

Передумови

- Наша робота «Залучення приватних інвестицій у чисту електроенергію» пропонує створення інвестиційного фонду для проєктів відновлюваної енергетики в Україні.
- Запропонований фонд має на меті зміцнити фінансову привабливість приватних проєктів у сфері чистої енергетики в Україні, гарантуючи мінімальну виплату (ціну) за надану електроенергію.
- Це допоможе забезпечити визначеність у плануванні для інвесторів і кредиторів, а деталі будуть визначені у співпраці з інвесторами та зацікавленими сторонами.
- Виплати фонду є функцією різниці між попередньо визначеною ціною виконання («страйкова ціна») та ринковою ціною електроенергії.
- **Довгострокова фінансова стійкість фонду залежатиме від його фінансових ресурсів та очікуваних виплат. Можливий рівень таких виплат розглядається далі.**

Щорічні виплати фонду, а отже, і його фінансові потреби, залежать від трьох основних факторів:

1. **Допустимі інвестиції:** Обсяг нових потужностей з виробництва електроенергії, що підлягають покриттю
2. **Ціни на електроенергію:** На українському оптовому ринку вони визначаються щогодини за найдорожчою пропозицією, яка необхідна для задоволення попиту

Очікувані витрати на виробництво електроенергії, а отже, і ціни на неї, по суті, визначаються трьома факторами*:

- **Структура парку електростанцій:** в т.ч. атомні, відновлювані та теплові потужності
 - **Попит на електроенергію:** в т.ч. його погодинна динаміка
 - **Ціни на паливо та викиди CO₂:** Ці змінні є особливо важливими, оскільки вони визначають собівартість виробництва на теплових електростанціях, що формують граничну ціну.
3. **Функція виплат:** Конкретна формула, що визначає виплати інвесторам при певній ціні на електроенергію.

* Існують також інші фактори, що розглядаються, включаючи погоду/клімат; погодинні можливості імпорту/експорту; ...

Ми визначаємо ціни на електроенергію, використовуючи нашу модель електроенергетичної системи

- Модель електроенергетичної системи використовується для визначення мінімальної вартості виробництва електроенергії з погодинною роздільною здатністю, що дозволяє розраховувати ціни на електроенергію.
- Два різні сценарії визначені для представлення діапазону можливих варіантів розвитку подій у майбутньому. Вони відрізняються з точки зору попиту та встановлених потужностей в Україні.
 - **Сценарій 1:** “НПЕК WEM 2030” відповідає припущенням щодо попиту та пропозиції відповідно до сценарію WEM («З існуючими заходами») «Національного плану з енергетики та клімату до 2030 року (НПЕК)» (2024).
 - **Сценарій 2:** “Поточний курс 2030” відповідає припущенням щодо попиту та пропозиції на основі експертної оцінки, наданої IMEPOWER.
- Ми використовуємо реалізацію моделі PyPSA, розроблену в рамках проєкту GDU (див. Додаток 1).

** WEM є консервативним сценарієм з точки зору скорочення викидів зі значною часткою атомної генерації та відносно низьким попитом.*

● ● Припущення щодо сценаріїв



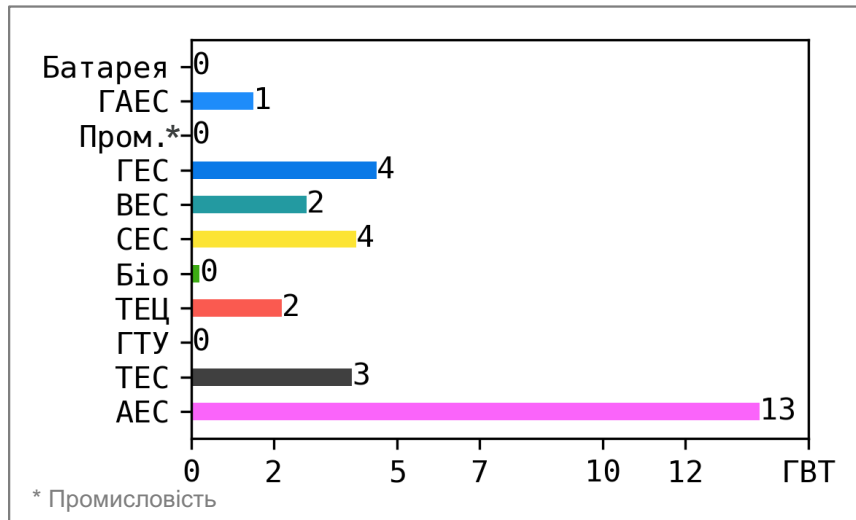
Загальні припущення для обох сценаріїв

- **Встановлені потужності** та сукупний **попит** на електроенергію в усіх країнах ENTSO-E, окрім України, базуються на основі припущень зі сценарію «Десятирічний план розвитку мережі (TNYDP) NT+» на 2030 рік.
- **Ціни на паливо** для всіх країн, включаючи Україну, беруться з урахуванням тенденцій, викладених у TYNDP на 2030 рік.
- **Ціна на CO₂** для всіх країн, окрім України, беруться з урахуванням тенденцій, викладених у TYNDP на 2030 рік.
- **Ціна CO₂** в Україні береться з урахуванням сценарію WEM, викладеного у НПЕК на 2030 рік.
- Усі **чисті пропускні спроможності** між країнами параметризовані на основі припущень зі сценарію «Десятирічний план розвитку мережі (TNYDP) NT+» на 2030 рік.

● ● Припущення щодо сценаріїв

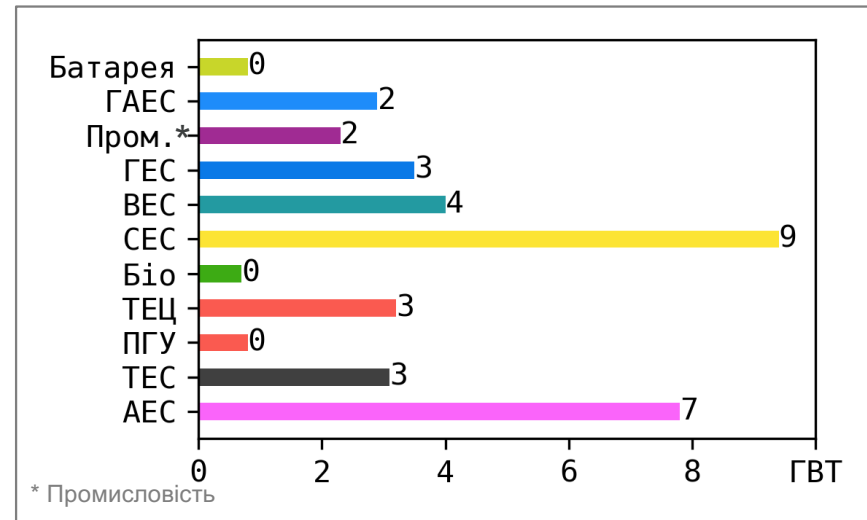
Встановлені потужності (ГВт) в Україні (2030)

Сценарій “НПЕК WEM 2030”



Джерело: Veda Online – результати моделювання UA TIMES

Сценарій “Поточний курс 2030”

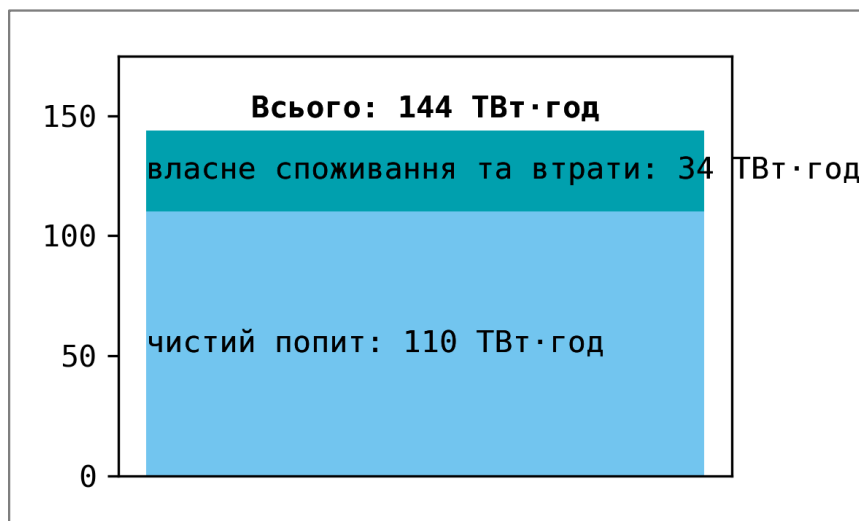


Джерело: експертна оцінка, надана IMEPOWER

- ● Припущення щодо сценаріїв

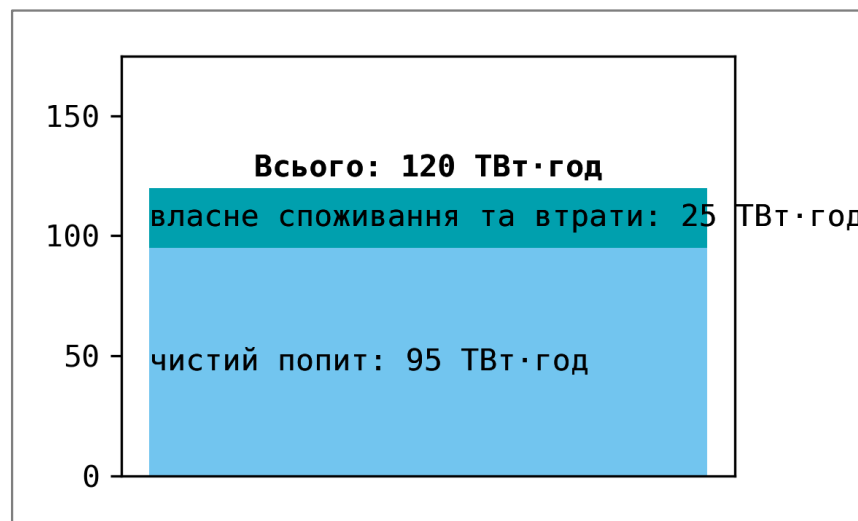
Попит в Україні (ТВт·год) 2030

Сценарій “НПЕК WEM 2030”



Джерело: Veda Online – результати моделювання UA TIMES

Сценарій “Поточний курс 2030”

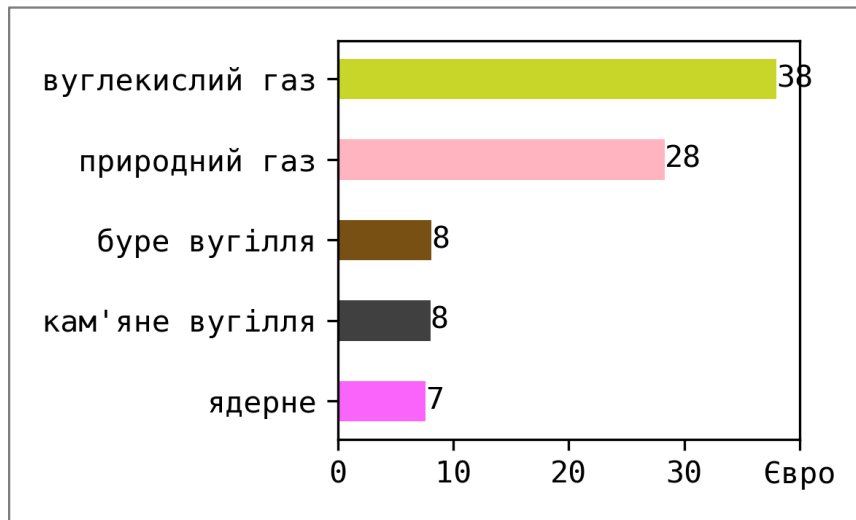


Джерело: експертна оцінка, надана IMEPOWER

● ● Припущення щодо сценаріїв

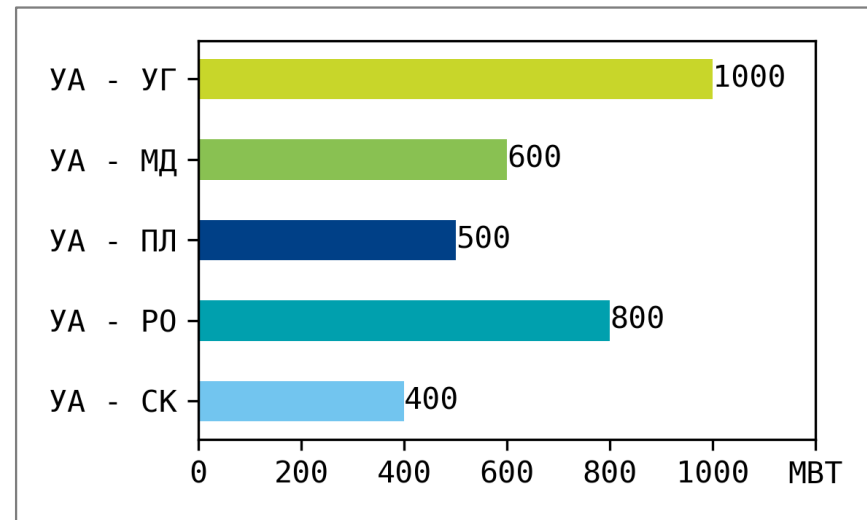
Припущення для обох сценаріїв

Ціни на палива (у Євро/МВт-год) та на CO₂ (у Євро/т) 2030



Джерело: TYNDP

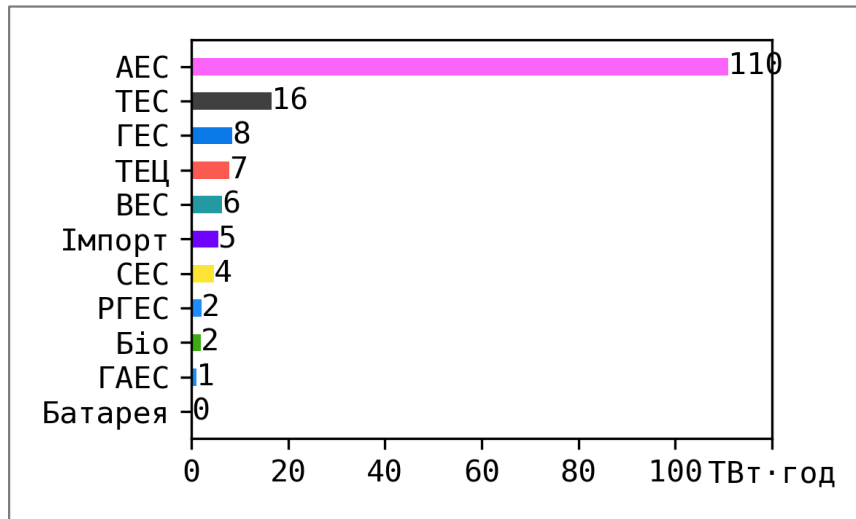
Чиста пропускна спроможність, Україна та сусідні країни (МВт) 2030



Джерело: TYNDP

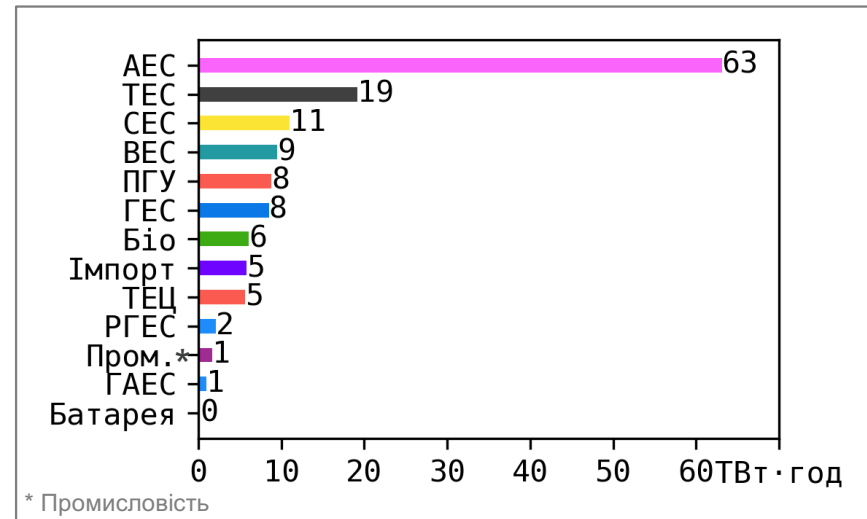
Структура генерації в Україні (ТВт-год) 2030

Сценарій “НПЕК WEM 2030”



Джерело: Власні розрахунки з використанням моделі GDU
PyPSA-UA

Сценарій “Поточний курс 2030”

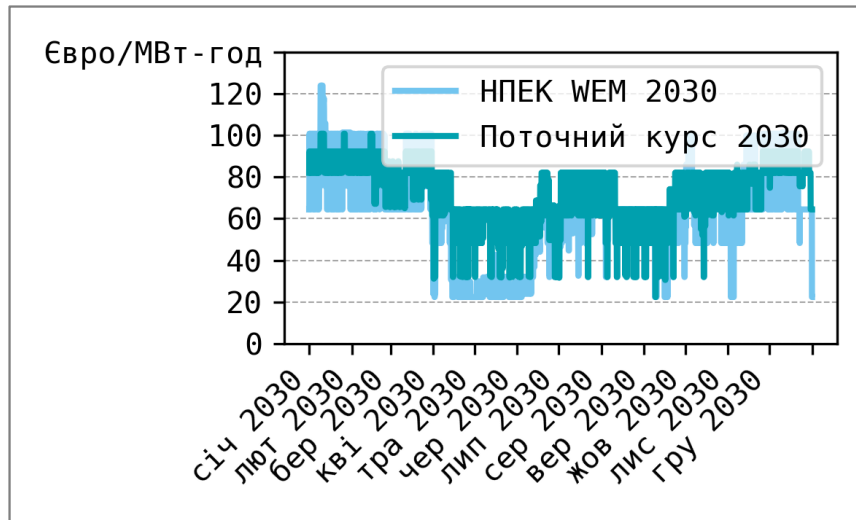


Джерело: Власні розрахунки з використанням моделі GDU
PyPSA-UA

● ● Результати на основі сценаріїв

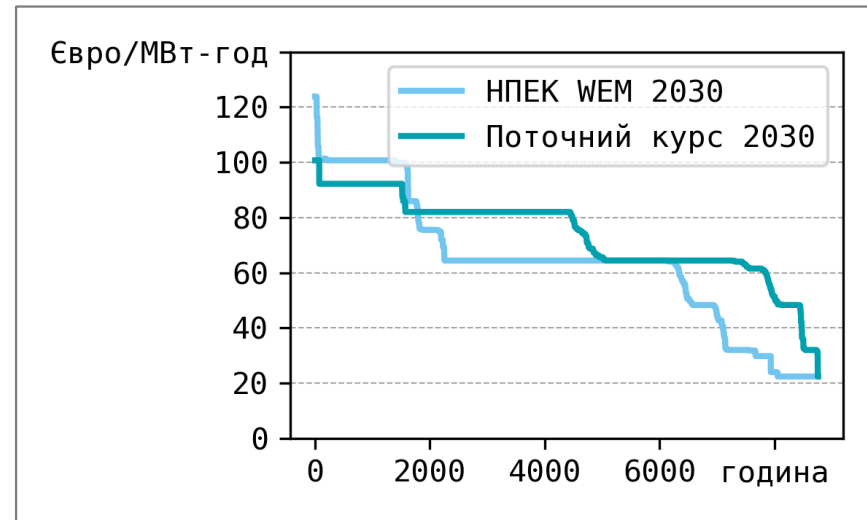
Ціни та криві тривалості цін (Євро/МВт-год) 2030

Траєкторія цін



Джерело: Власні розрахунки з використанням моделі GDU
PyPSA-UA

Криві тривалості цін



Джерело: Власні розрахунки з використанням моделі GDU
PyPSA-UA

Визначення сукупної річної виплати фонду

Виплата фонду залежить від:

- **Погодинних цін на електроенергію:**
 - Ми отримуємо погодинні ціни на основі результатів сценаріїв “НПЕК WEM 2030” та “Поточний курс 2030”.
- **Ціна виконання** (або «страйкова ціна») — це поріг ціни на електроенергію, нижче якого інвестори отримують компенсацію:
 - Ми проаналізували вплив трьох цін виконання: 50, 65 та 80 Євро/МВт-год.
- **Функція виплат**, яка визначає точну компенсацію, яку отримує інвестор, коли ціна на електроенергію є нижчою за ціну виконання:
 - Чотири функції виплат, які відрізняються за врахуванням погодинних проти середніх цін та окремих проти еталонних електростанцій (див. Додаток 2).
- Щоб проілюструвати вплив цих трьох чинників, ми оцінюємо річні виплати з фонду для 1 МВт встановленої вітрової енергії, 1 МВт сонячної енергії та їхньої комбінації.

Як інтерпретувати результати на наступному слайді

Вхідні дані: чотири функції виплат

Вхідні дані: два цінові сценарії

		НПЕК WEM 2030			Поточний курс 2030		
середня ринкова ціна:		ø 64 Євро / МВт-год			75 Євро / МВт-год		
		ціна виконання:			ціна виконання:		
		50 Євро/МВт-г	65 Євро/МВт-г	80 Євро/МВт-г	50 Євро/МВт-г	65 Євро/МВт-г	80 Євро/МВт-г
1 МВт ВЕС на суші 2100 МВт-год/рік	погодинні ціни та погодинна генерація, окрема станція	9	17	41	1	5	18
	погодинні ціни та середня генерація, окрема станція	10	19	43	1	5	20
	погодинні ціни та погодинна генерація, еталонна станція	10	19	45	1	5	21
	середня ціна та річна генерація, окрема станція	0	3	35	0	0	14
		ринкова виручка окремої станції: 139			ринкова виручка окремої станції: 159		
1 МВт СЕС промислових масштабів 1100 МВт-год/рік	погодинні ціни та погодинна генерація, окрема станція	7	15	29	1	5	18
	погодинні ціни та середня генерація, окрема станція	5	10	22	1	3	10
	погодинні ціни та погодинна генерація, еталонна станція	8	16	31	3	10	23
	середня ціна та річна генерація, окрема станція	0	1	18	0	0	7
		ринкова виручка окремої станції: 61			ринкова виручка окремої станції: 68		
Мікс ВДЕ (відновлюваних джерел енергії) 1600 МВт-год/рік	погодинні ціни та погодинна генерація, окрема станція	0	16	35	0	5	18
	погодинні ціни та середня генерація, окрема станція	0	14	33	0	4	15
	погодинні ціни та погодинна генерація, еталонна станція	0	18	38	0	7	22
	середня ціна та річна генерація, окрема станція	0	2	26	0	0	11
		ринкова виручка окремої станції: 101			ринкова виручка окремої станції: 114		

Вихідні дані: середня ринкова ціна

Вхідні дані: три ціни виконання

Вихідні дані: виплата фонду у 1,000 Євро/рік

Вихідні дані: ринковий дохід станції потужністю 1 МВт у 1,000 Євро/рік

Вхідні дані: три типи відновлюваних потужностей

Виплата фонду у 1,000 Євро / МВт (2030)

НПЕК WEM 2030

Поточний курс 2030

середня ринкова ціна:

∅ 64 Євро / МВт-год

75 Євро / МВт-год

ринкова виручка окремої станції: 139

ринкова виручка окремої станції: 159

ціна виконання: 50 Євро/МВт-г 65 Євро/МВт-г 80 Євро/МВт-г

50 Євро/МВт-г 65 Євро/МВт-г 80 Євро/МВт-г

1 МВт ВЕС на суші	2100 МВт-год/рік	НПЕК WEM 2030			Поточний курс 2030		
		50 Євро/МВт-г	65 Євро/МВт-г	80 Євро/МВт-г	50 Євро/МВт-г	65 Євро/МВт-г	80 Євро/МВт-г
погодинні ціни та погодинна генерація, окрема станція		9	17	41	1	5	18
погодинні ціни та середня генерація, окрема станція		10	19	43	1	5	20
погодинні ціни та погодинна генерація, еталонна станція		10	19	45	1	5	21
середня ціна та погодинна генерація, окрема станція		0	3	35	0	0	14

ринкова виручка окремої станції: 61

ринкова виручка окремої станції: 68

ціна виконання: 50 Євро/МВт-г 65 Євро/МВт-г 80 Євро/МВт-г

50 Євро/МВт-г 65 Євро/МВт-г 80 Євро/МВт-г

1 МВт СЕС промислових масштабів	1100 МВт-год/рік	НПЕК WEM 2030			Поточний курс 2030		
		50 Євро/МВт-г	65 Євро/МВт-г	80 Євро/МВт-г	50 Євро/МВт-г	65 Євро/МВт-г	80 Євро/МВт-г
погодинні ціни та погодинна генерація, окрема станція		7	15	29	1	5	18
погодинні ціни та середня генерація, окрема станція		5	10	22	1	3	10
погодинні ціни та погодинна генерація, еталонна станція		8	16	31	3	10	23
середня ціна та погодинна генерація, окрема станція		0	1	18	0	0	7

ринкова виручка окремої станції: 101

ринкова виручка окремої станції: 114

ціна виконання: 50 Євро/МВт-г 65 Євро/МВт-г 80 Євро/МВт-г

50 Євро/МВт-г 65 Євро/МВт-г 80 Євро/МВт-г

Мікс ВДЕ (відновлюваних джерел енергії)	1600 МВт-год/рік	НПЕК WEM 2030			Поточний курс 2030		
		50 Євро/МВт-г	65 Євро/МВт-г	80 Євро/МВт-г	50 Євро/МВт-г	65 Євро/МВт-г	80 Євро/МВт-г
погодинні ціни та погодинна генерація, окрема станція		0	16	35	0	5	18
погодинні ціни та середня генерація, окрема станція		0	14	33	0	4	15
погодинні ціни та погодинна генерація, еталонна станція		0	18	38	0	7	22
середня ціна та погодинна генерація, окрема станція		0	2	26	0	0	11

Ключові висновки

- Виплати фонду за сценарієм “НПЕК WEM 2030” приблизно на 100% вищі, ніж за сценарієм “Поточний курс 2030” у всіх випадках (тип відновлюваної енергії, функція виплат та ціна виконання).
- Значно більша генерація АЕС у сценарії “НПЕК WEM 2030” призводить до нижчих цін, що вимагає більших виплат з фонду.
- Як і очіувалося та було передбачено, існує обернена залежність між виплатами з фонду та власними доходами операторів відновлюваної енергетики від виробництва електроенергії.
- Дохід на 1 МВт вітрових потужностей у два рази вищий, ніж у сонячних, як і очіувалося. Це слід враховувати при визначенні цін виконання («страйкових цін»).
- У нашому прикладі (але це не обов'язково має бути так) функція виплат F III, яка базується на еталонному підприємстві, а не на конкретному підприємстві, призводить до вищих виплат, ніж інші функції.

Невизначеності та подальший аналіз

- Багато припущень ґрунтуються або на українському НПЕК та сценарії ENTSO-E TYNDP, або на експертних оцінках, наданих IMEPOWER. Як і з усіма прогнозами та планами, з цим пов'язана значна невизначеність.
- На нашу думку, основними проблемами, окрім невизначеності щодо подальшого розвитку російської агресії, є наступні (знак +/- вказує на те, чи призводить підвищення до зростання виплат):
 - Динаміка попиту в Україні (-) та сусідніх країнах (-),
 - Проблема продовження/збільшення експлуатації атомних електростанцій в Україні (+),
 - Запровадження ціни на CO₂ в Україні (-) щонайменше на рівні 38 Євро/тонну до 2030 року.
 - Динаміка цін на паливо в Європі (-).
- Результати показують виплати фонду на 1 МВт встановленої потужності лише за один рік. Подальший аналіз необхідний для того, щоб показати, як зміна фундаментальних параметрів в Україні та Європі вплине на виплати фонду в довгостроковій перспективі.

PyPSA

PyPSA* можна використовувати для вирішення різних типів задач (наприклад, моделювання ринку електроенергії, довгострокове інвестиційне планування, планування розширення мережі електропередач), і вона добре масштабується для великих мереж і довгих часових рядів. Існує чотири основні функції:

- **Аналіз статичного потоку потужності:** різні параметри та показники, що описують стан роботи електричної енергомережі в усталених умовах
- **Лінійний оптимальний потік потужності (LOPF):** найменш витратна оптимізація диспетчеризації електростанцій та зберігання енергії з урахуванням мережевих обмежень, з використанням лінійних рівнянь мережі протягом кількох моментів часу
- **Лінійний оптимальний потік потужності з урахуванням обмежень безпеки (SCLOPF)**
- **Оптимізація загальних інвестицій в електроенергію/енергетичну систему з найменшими витратами:** використання лінійних рівнянь мережі протягом кількох моментів часу для одночасної оптимізації диспетчеризації генерації та зберігання енергії, а також інвестицій у потужності генерації / зберігання / передачі енергії та іншої інфраструктури

* 'Python for Power System Analysis': <https://pypsa.org>

Функції виплат

- З функцією виплат F I виплата здійснюється щогодини, коли поточна ціна є нижчою за ціну виконання. Сума виплат визначається як різниця між цими двома цінами та виробництвом електроенергії з ВДЕ на відповідній електростанції у відповідну годину.
- Функція F II відрізняється тим, що рівень виробництва визначається не фактичним погодинним виробництвом, а середнім значенням.
- Функція F III працює подібно до F I, з тією різницею, що використовується не фактичне виробництво на конкретній електростанції, а виробництво на еталонній електростанції.
- Функція виплат F IV також базується на F I. Однак тут різниця в цінах визначається не відносно погодинної ціни, а між ціною виконання та середньою ціною на електроенергію за рік. Виплата знову здійснюється за виробництво на конкретній електростанції.

F I: 'погодинні ціни (p_t) & погодинна генерація (g_t^{\cdot}), окрема станція': $F_I^{wind} = \sum_{t=1}^{8760} (\max((\pi - p_t), 0) \cdot g_t^{wind})$

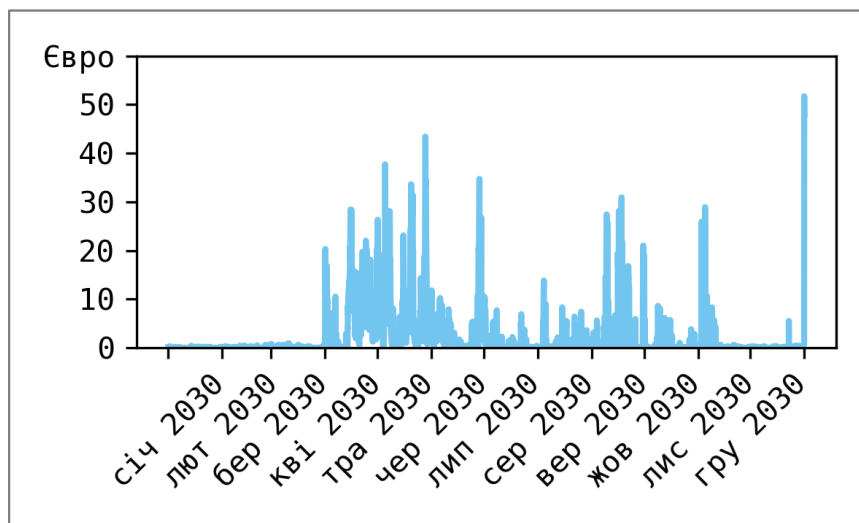
F II: 'погодинні ціни (p_t) & середня генерація (\tilde{g}), окрема станція': $F_{II}^{wind} = \sum_{t=1}^{8760} \left(\max((\pi - p_t), 0) \cdot \frac{\sum_{t=1}^{8760} g_t^{wind}}{8760} \right)$

F III: 'погодинні ціни (p_t) & погодинна генерація (g_t^{\cdot}), еталонна станція': $F_{III}^{wind} = \sum_{t=1}^{8760} (\max((\pi - p_t), 0) \cdot \widehat{g}_t^{wind})$

F IV: 'середня ціна (\tilde{p}) & погодинна генерація (g_t^{\cdot}), окрема станція': $F_{IV}^{wind} = \sum_{t=1}^{8760} (\max((\pi - \tilde{p}), 0) \cdot g_t^{wind})$

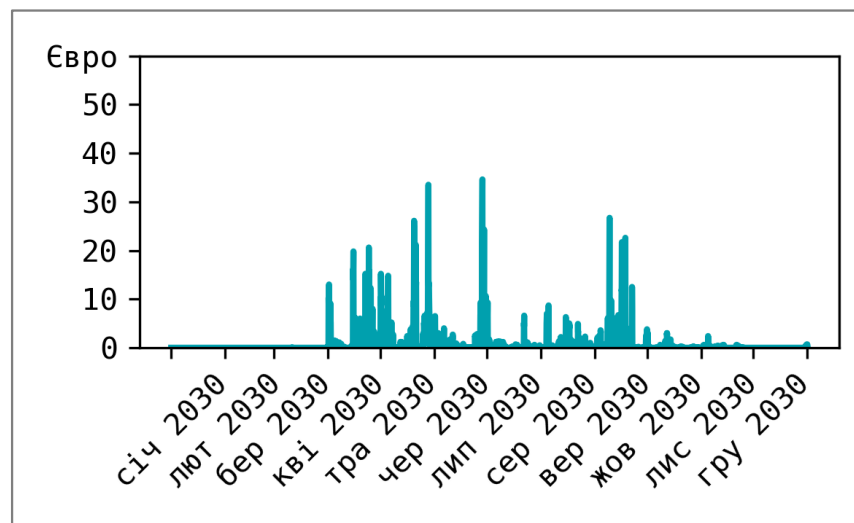
Погодинна виплата для 1 МВт вітрової потужності, функція виплат FI, ціна виконання 65 Євро / МВт-год

Сценарій “НПЕК WEM 2030”



Джерело: Власні розрахунки з використанням моделі GDU PyPSA-UA

Сценарій “Поточний курс 2030”



Джерело: Власні розрахунки з використанням моделі GDU PyPSA-UA

green deal 
UKRAINA

HZB Helmholtz
Zentrum Berlin

 **Forum
Energii**
Analizy i dialog

 dixigroup

екодія
ecoaction.org.ua
