

УКРАЇНА: КАРТУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ ОЦІНКА ПОТЕНЦІАЛУ СОНЯЧНОЇ ТА ВІТРОВОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

ПІДГОТОВЛЕНО ДЛЯ GREENPEACE НІМЕЧЧИНА





Institute for Sustainable Futures

University of Technology Sydney

Level 10

235 Jones Street

Ultimo NSW 2007

ABN: 77 257 686 961

Postal Address

PO Box 123

Broadway NSW 2007



Institute for Sustainable Futures

University of Technology Sydney

PO Box 123 Broadway, NSW, 2007

www.isf.uts.edu.au

ПРО АВТОРСЬКИЙ КОЛЕКТИВ

Інститут сталого майбутнього (Institute for Sustainable Futures, ISF) засновано у 1996 році на базі Технологічного університету Сіднея (University of Technology Sydney, UTS) для роботи з представниками промисловості, влади та громадськості з метою розбудови сталого майбутнього через проведення досліджень та консультацій. Наша місія полягає у впровадженні змін, що торуватимуть шлях до сталого майбутнього, у якому стан довкілля, добробут населення та соціальну справедливість буде захищено і покращено. У своїй роботі ми воліємо покладатися на міждисциплінарний підхід та залучати партнерські організації до співпраці, націленої на ухвалення стратегічних рішень.

Додаткову інформацію можна знайти за посиланням: www.isf.uts.edu.au/oecm

Науково-дослідницька група: ад'юнкт-професор доктор Свен Теске (Dr. Sven Teske), старша наукова консультантка Саорі Міяке (Saori Miyake)

ПАРТНЕРСТВО

Проект здійснено у співпраці з Greenpeace Німеччина, Hongkongstrasse 10, 20450 Hamburg, Germany.

ЦИТУВАННЯ

Teske, S., Miyake, S (2024): Ukraine: Solar and Wind Energy Assessment; prepared for Greenpeace Німеччина by The University Technology Sydney, Institute for Sustainable Futures; April 2024

ПОДЯКИ

Автори цього дослідження висловлюють щире подяку Greenpeace Німеччина за надані ними дані та консультаційну підтримку.

Усі висновки та будь-які помилки, що залишилися в тексті, належать авторам.

ЗАСТЕРЕЖЕННЯ ЩОДО ВІДПОВІДАЛЬНОСТІ

Автори підійшли до створення цього звіту з усією належною увагою та фаховістю, щоб забезпечити точність матеріалу станом на момент його оприлюднення. Технологічний університет Сіднея та автори цього звіту не несуть жодної відповідальності за будь-які можливі збитки, завдані внаслідок застосування матеріалів документа.

INSTITUTE FOR SUSTAINABLE FUTURES

University of Technology Sydney
PO Box 123
Broadway NSW 2007
AUSTRALIA
www.isf.edu.au
© UTS 1 квітня 2024

Зміст

Вступне слово	5
Анотація	6
Довідкова інформація: Кліматична модель «Єдина Земля» (One Earth Climate Model, OECM)	10
Обсяг дослідження	12
Технічний підхід та методологія	12
Опис проєкту	12
Робочі пакети	12
1 Україна: потенціал відновлюваної енергетики	13
1.1 Методика [R]E SPACE	13
1.2 Картування України	15
2 Україна: енергоекономічне значення потенціалу сонячної та вітрової енергетики	21
2.1 Потенціал експорту енергії з відновлюваних джерел	21
3 Україна: вигоди від експорту енергії з відновлюваних джерел	27
3.1 Виробництво електроенергії з відновлюваних джерел: економічні переваги	27
3.2 Відновлювана енергетика: потенціал для створення робочих місць	28
4 Використані джерела	30

«КАРТУВАННЯ СОНЯЧНОЇ ТА ВІТРОВОЇ ЕНЕРГЕТИКИ ДЛЯ УКРАЇНИ»

Удари, яких Росія завдає по Україні, спричинили багато горя мирному населенню, перевернувши догори дригом життя багатьох. Безперебійне постачання електроенергії та тепла стало неабиякою проблемою для багатьох домогосподарств, адже Росія систематично цілить в об'єкти критичної інфраструктури. Ситуація, що склалася, вимагає негайного винесення питань енергетичної стійкості країни на перші рядки політичного порядку денного.

На думку Greenpeace (і цю точку зору поділяють чимало інших організацій та фахівців), неабияку роль тут може відіграти енергія з відновлюваних джерел. Зокрема, йдеться про енергію сонця та вітру, адже саме ці технології наразі здатні стати найвагомішим, найдешевшим та екологічно чистим внеском у відновлювані джерела енергії. Крім того, ширше використання енергії вітру й сонця відкриває величезні економічні перспективи. Неабиякий розмір території та значна протяжність суходолу відкривають для держави можливість не лише бути енергетично самодостатньою, але й стати значним експортером зелених електроенергії та водню. До того ж є значний політичний інтерес до енергетичної співпраці та торгівлі з державами Європейського Союзу.

З огляду на це ми звернулися до провідних науковців з Інституту сталого майбутнього Технологічного університету Сіднея та попросили їх здійснити оцінку та розрахунки стосовно потенціалу сонячної та вітрової енергетики в Україні. Отримані ними результати вражають і, маємо надію, стануть поштовхом у дискусії про напрям майбутньої енергетичної політики України. Потенціал енергії сонця й вітру досі не отримав належної оцінки українськими можновладцями, зокрема на рівні обговорення. Результати цього дослідження також підкріплюють ідею про посилення співпраці з Європою у сфері енергопостачання та заохочують українські громади й окремих осіб брати власне енергозабезпечення та майбутнє у свої руки.

Андрее Бьолінг (Andree Boehling)
Експерт з енергетики, Greenpeace Німеччина

Анотація

ЯКУ РОЛЬ МОЖЕ ВІДІГРАТИ СОНЯЧНА ТА ВІТРОВА ЕНЕРГЕТИКА В УКРАЇНІ?

Greenpeace Німеччина звернулися до фахівців Інституту сталого майбутнього (Institute for Sustainable Futures, ISF) технологічного університету Сіднея (University of Technology Sydney, UTS) та доручили їм провести аналіз потенціалу сонячної та вітрової енергетики в Україні на основі цифрових мап Геоінформаційної системи (ГІС). Основна мета картування ГІС полягає у тому, щоб визначити доступність ресурсів для сонячної та вітрової енергетики. Цей процес також є складовою частиною регіонального аналізу географічних і демографічних показників та наявної інфраструктури, на які можна спиратися при розробці сценаріїв. Комплексний набір даних про потенціал сонячної та вітрової енергетики в Україні покликаний стати підкріпленням концепції «зеленої відбудови». Дані ГІС із цього аналізу в роздільній здатності 250 м x 250 м доступні для перегляду усіма державними установами України.

Картування сонячної та вітрової енергетики: два сценарії

Потенціал сонячної та вітрової енергетики України було картовано за двома окремими сценаріями:

- **Сценарій 1.** Включає всі доступні землі, за винятком земель природоохоронного фонду (РА), а також земель з надзвичайно складною топографією (нахил понад 30%, певні типи ґрунтового покриття, густі ліси, водно-болотні угіддя, мох і лишайники) вкривання снігом і кригою, а також водою (постійні водойми) (LU).
- **Сценарій 2.** Див. Сценарій 1, з додатковими обмеженнями у вигляді виключення земельних ділянок, розташованих за ≤ 10 км від наявних ліній електропередачі (PT10).

При аналізі потенціалу вітрової енергетики до доступних земель було також включено землі, вкриті рідколіссям та чагарниками, трав'янистою рослинністю, з незначним або відсутнім рослинним покривом, а також землі сільськогосподарського призначення. Виключення з аналізу потенціалу вітрової енергетики зазнали земельні ділянки з густими лісами, водно-болотні угіддя, ділянки, вкриті мохами та лишайниками, території населених пунктів/забудовані території, сніг та лід, а також постійні водойми.

Середньорічний рівень сонячного випромінювання (DNI) в Україні коливається між близько 950 та 1500 кВт-г/м² на добу; верхня межа цього діапазону припадає на південну частину держави. Порівняно з сонячною енергією, загальний ресурс вітрової енергії на суходолах України є нижчим. За даними Global Wind Atlas, в Україні швидкість вітру на висоті 100 м над поверхнею коливається між 1,3 та 12,5 м/с. У межах цього аналізу було розглянуто лише території із середньорічною швидкістю вітру ≥ 5 м/с.

Потенціал вітроенергетики в Україні було картовано за двома окремими сценаріями.

Поточне використання енергії вітру в Україні включає потужні вітрові турбіни (до 10 МВт), що працюють і як частина мережі електропостачання, і поза мережею (для заряджання акумуляторів).

- **«Сценарій 1»:** До переліку доступних земель не входять землі природоохоронного фонду, землі зі складною топографією (нахил $> 30\%$, S30), а також ті, що наразі перебувають у користуванні (включно з лісами та територіями населених пунктів).
- **«Сценарій 2»:** Див. «Сценарій 1», з додатковими обмеженнями у вигляді виключення земельних ділянок, розташованих за ≤ 10 км від наявних ліній електропередачі (Рис. 5).

Рідколісся, чагарники, ділянки з трав'янистою рослинністю, з незначним або відсутнім рослинним покривом, а також землі сільськогосподарського призначення було включено до розгляду в рамках обох сценаріїв, тоді як ділянки, вкриті густими лісами, мохами та лишайниками, водно-болотні угіддя, території населених пунктів/забудовані території, сніг та лід, а також постійні водойми було виключено при здійсненні аналізу потенціалу вітрової енергетики.

Виходячи з наявності підхожих земельних площ було обраховано закладену потужність енергетичних об'єктів та потенційні обсяги виробництва електроенергії на рік¹. У контексті мережевого виробництва

1. Miyake 2023, <https://mangomap.com/university-of-technology-sydney/maps/132307/solar-potential-area-in-g20?preview=true#> and <https://www.uts.edu.au/oecm/renewable-resource-mapping>

сонячної енергії розрахунки здійснювалися виходячи з припущення, що на кожен квадратний кілометр корисної площі можна встановити сонячні фотоелектричні модулі потужністю 25 МВт із середнім ККД 18%. Вищий ККД дозволить ще більше скоротити кількість модулів на 1 МВт. Крім того, при здійсненні розрахунків було враховано, що певна частина зазначених площ буде відведена під облаштування під'їзних доріг та міжряддя (для здійснення технічного обслуговування), а отже, що сонячні модулі вкриватимуть не всю площу земельної ділянки. У випадку використання сільськогосподарських фотоелектричних систем (агровольтаїчних систем) модулі встановлюються високо над землею, що дозволяє використовувати простір під ними для вирощування сільськогосподарських та інших культур (для виробництва біоенергії чи біоматеріалів).

Щодо наземних вітрогенераторів виходили з припущення, що встановлені турбіни матимуть потужність 2–3 МВт, а відстань між ними буде більшою за діаметр ротора приблизно в 6–7 разів. Стандартні вітряні турбіни потужністю 3 МВт з трьома лопатями, встановлені проти вітру, мають горизонтальну вісь і мають середній діаметр ротора від 115 м до 140 м (залежно від моделі та оптимізації для встановлення у прибережній смузі чи вглиб суходолу). Таким чином, було обраховано середнє значення потужності на 1 км² у 5 МВт. Сонячні панелі та вітрові турбіни, під'єднані до загальної мережі, можна поєднати в межах спільної земельної ділянки – відповідно, енергетичний потенціал цієї ділянки зростає. Втім, через величезний потенціал використання сонячних панелі та вітрові турбіни зазвичай розміщуються на окремих земельних ділянках.

1% від земель, придатних для використання у сонячній та вітровій енергетиці, здатен повністю задовольнити увесь попит України на електроенергію

Україна має величезний потенціал виробництва сонячної та вітрової енергії, що перевищує її поточний внутрішній попит (125 ТВт-г/рік). Навіть за умови жорстких обмежень використання земельних ділянок потенціал перевищує попит у майже 150 разів. Відповідно, для виробництва кількості електроенергії, достатньої для задоволення потреб усієї країни, вистачить лише невеликого відсотка земель, теоретично придатних для їх використання у сонячній та вітровій енергетиці.

Потенціал використання відновлюваних джерел енергії не передбачає жодних обмежень – навіть якщо припустити, що у майбутньому декарбонізація енергопостачання в Україні зростає в три чи навіть у чотири рази внаслідок посиленої електрифікації транспортного сектору, переходу на опалення житлових приміщень за допомогою теплових насосів, а також промислового опалення синтетичним паливом (як-от водень та аміак) та за допомогою промислових теплових насосів. Ба більше, окрім сонячної та наземної вітрової енергії Україна може використовувати офшорну вітрогенерацію, біоенергію, геотермальну енергію та гідроенергію. Втім, аналіз потенціалу цих джерел енергії виходить за межі цього дослідження.

Енергоекономічне значення потенціалу виробництва сонячної та наземної вітрової електроенергії в Україні стає очевидним у порівнянні з внутрішнім попитом на електроенергію. Виходячи зі Сценарію 1, лише 0,46% сонячного та 0,4% вітрового потенціалу буде достатньо для забезпечення електроенергією усіх потреб держави. За більш реалістичного припущення про використання енергії сонця й вітру лише на ділянках, віддалених від високовольтних мереж на більш ніж 10 км, Україна змогла б задовольнити свій загальний попит на електроенергію (за рівнем 2021 року) лише з 1% з усіх ділянок, придатних для встановлення сонячних панелей та вітрових установок.

Україна: потенціал забезпечення енергією сонця й вітру порівняно з внутрішнім попитом

Україна (з АРК включно) Попит на електроенергію у 2021 році: 125 ТВт-г/рік	Потенціал сонячної енергетики, закладена потужність	Потенціал сонячної енергетики, щорічне виробництво (коефіцієнт потужності 12%)	Потенціал вітрової енергетики, закладена потужність	Потенціал вітрової енергетики, щорічне виробництво (коефіцієнт потужності 35%)	Потенціал сонячної + вітрової енергетики, закладена потужність	Потенціал сонячної + вітрової енергетики, щорічне виробництво	Фактор пропозиції (сонячна + вітрова енергетика)
	[ГВт]	[ТВт-г/рік]	[ГВт]	[ТВт-г/рік]	[ГВт]	[ТВт-г/рік]	[1]
Сценарій 1 – теоретично придатні площі	11 301	11 866	2 146	6 546	13 447	18 460	148
Сценарій 2 – відстань до мережі 10 км	5 084	5 339	950	2 897	6 034	8 257	66

УКРАЇНА ЗДАТНА ЕКСПОРТУВАТИ ЕНЕРГІЮ З ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ДО ЄС

Значні ресурси України, доступні для використання у сонячній та наземній вітровій енергетиці, можуть не лише задовольняти внутрішній попит, але й генерувати енергію на експорт до сусідніх держав. Експорт енергії може здійснюватися або у формі електроенергії (через електромережі), або у формі водню чи іншого синтетичного палива (виробленого за допомогою електроенергії з відновлюваних джерел) через трубопровід, або шляхом доставки танкерами — суходелом або морем.

Щоб надати перспективу потенціалу сонячної та вітрової енергетики в Україні, порівняймо його з потенціалом відновлюваної енергетики у Євросоюзі загалом (ЄС27) та потенціалом окремих європейських країн, досвід яких було покладено в основу розрахунків щодо шляхів передбаченого Паризькою угодою утримання глобального потепління в межах 1,5°C. Такий дослідницький проєкт було здійснено у 2023 році на замовлення Фінансової ініціативи ЮНЕП та скликаного ООН Альянсу власників вуглецево-нейтральних активів². У таблиці нижче наведено значення потенціалів сонячної та наземної вітрової енергетики — і закладена потужність у гігаватах [ГВт], і середні обсяги очікуваного щорічного виробництва енергії у Терават-годинах на рік [ТВт-г/рік].

Україна: потенціал забезпечення енергією сонця й вітру порівняно з Євросоюзом загалом (ЄС27) та окремими державами-учасницями ЄС

	Потенціал сонячної енергетики, закладена потужність	Потенціал сонячної енергетики, щорічне виробництво (коефіцієнт потужності 12%)	Потенціал вітрової енергетики, закладена потужність	Потенціал вітрової енергетики, щорічне виробництво (коефіцієнт потужності 35%)	Потенціал сонячної + вітрової енергетики, закладена потужність	Потенціал сонячної + вітрової енергетики, щорічне виробництво	Поточний попит на електроенергію
	[ГВт]	[ТВт-г/рік]	[ГВт]	[ТВт-г/рік]	[ГВт]	[ТВт-г/рік]	[ТВт-г/рік]
Україна (з АПК включно)		1 051		3 066			125
Сценарій 1 — теоретично придатні площі	11 301	11 880	2 146	6 580	13 447	18 460	
Сценарій 2 — мінімальна відстань до мережі 10 км	5 084	5 345	950	2 912	6 034	8 257	
Франція (G20 & G7)	6 641	6 981	1 249	3 829	7 890	10 810	444
Німеччина (G20 & G7)	1 446	1 520	699	2 143	2 145	3 663	527
Італія	3 970	4 173	249	764	4 219	4 936	281
Сполучене Королівство	28,3485	29,7999432	599,27	1837,36182	627,6185	1867	283
ЄС27, загалом	34 400	36 162	6 630	20 329	41 031	56 490	2 564

Нова інфраструктура, необхідна для експорту енергії до ЄС

Експорт електроенергії з відновлюваних джерел або газів і палива, виготовлених за допомогою такої енергії, вимагає наявності спеціальної, орієнтованої на експорт, енергетичної інфраструктури. Потужність високовольтних ліній електропередачі має бути значно більшою за ту, що розрахована на обмежений енергообмін з сусідніми країнами. Наразі Україна має з'єднання з електромережами чотирьох країн-учасниць ЄС — Польщею, Словаччиною, Угорщиною та Румунією; через ці країни можна здійснювати експорт електроенергії з відновлюваних джерел до ЄС. На Рис. 7 показано сполучення систем електромереж України та сусідніх держав.

Відновлювана енергетика здатна створити в Україні близько 20 000 нових робочих місць до 2030 року і нарешті, виробництво енергії з відновлюваних джерел створює можливості для довгострокового працевлаштування. Згідно з даними Міжнародного агентства з відновлюваної енергетики (IRENA), у 2023 році галузь відновлюваної енергетики забезпечила робочими місцями 13,7 мільйона людей у всьому світі, що на 1 мільйон більше, ніж у 2022 році. Близько 4,9 мільйона робочих місць було створено в

² Teske et al. 2023, Teske, S., Rispler, J., Niklas, S. et al. Net-zero 1.5 °C sectorial pathways for G20 countries: energy and emissions data to inform science-based decarbonization targets. SN Appl. Sci. 5, 252 (2023). <https://doi.org/10.1007/s42452-023-05481-x>

фотоелектричній промисловості; друге місце посіла гідроенергетика (близько 2,5 мільйона робочих місць), а третє — вітрогенерація (1,4 мільйона робочих місць)³.

Оцінки приблизного потенціалу створення робочих місць було здійснено на основі дуже простого сценарію розвитку української сонячної та вітрової енергетики. Ми виходили з припущення, що до 2030 року встановлення нових сонячних панелей і вітряних турбін дозволить сектору вийти на рівень виробництва енергії станом на 2021 рік, а потім, впродовж наступних 20 років, безперервно нарощувати виробництво відповідно до стабільного щорічного зростання ринку. У таблиці нижче наведено спрощену оцінку потенціалу зайнятості та передбачуваний розвиток ринку сонячної та вітрової енергії. Червоним позначено вхідні дані та приблизні оцінки. Ці розрахунки є суто орієнтовними і потребують більш детального опрацювання сценаріїв розвитку енерговидобування та енергетичної галузі загалом.

Зелене відновлення: сценарій розвитку вітрової та сонячної енергетики

						Проекція >>>								
Україна	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2035	2040	2050
Сукупна закладена потужність [МВт/рік]														
Сонячні батареї	6 075	6 381	6 381	6 381	6 681	7 026	7 440	7 947	8 622	9 532	10 762	20 452	36 275	102 798
Наземні вітрові установки	1 314	1 672	1 672	1 672	1 872	2 092	2 340	2 624	2 959	3 377	3 889	8 168	15 177	44 646
Річна закладена потужність [МВт/рік]														
Сонячні батареї	1 239	1 301	0	0	300	345	414	507	675	911	1 229	2 356	3 795	9 842
Наземні вітрові установки	358	456	0	0	200	220	248	285	334	418	512	1 044	1 681	4 360
Річні темпи зростання [%/рік]														
Сонячні батареї	25,6%	5,0%	0,0%	0,0%	10,0%	15,0 %	20,0 %	22,5%	33,0%	35,0%	35,0%	10,0%	10,0%	10,0%
Наземні вітрові установки	12,3%	27,2%	0,0%	0,0%	10,0%	10,0 %	12,5 %	15,0%	17,5%	25,0%	22,5%	10,0%	10,0%	10,0%
Частка досягнення потенціалу за «Сценарієм 2» [%]														
Сонячні батареї	0,12%	0,13%	0,13 %	0,13 %	0,13%	0,14 %	0,15 %	0,16%	0,17%	0,19%	0,21%	0,40%	0,71%	2,02%
Наземні вітрові установки	0,14%	0,18%	0,18 %	0,18 %	0,20%	0,22 %	0,25 %	0,28%	0,31%	0,36%	0,41%	0,86%	1,60%	4,70%
Потенціал працевлаштування, екстраполяція [робочі місця, рік]														
Сонячні батареї	10 076	10 583	4 467	4 467	6 087	6 540	7 154	7 947	9 205	10 952	13 311	25 390	43 227	118 216
Наземні вітрові установки	2 685	3 417	502	502	1 842	2 036	2 286	2 609	3 028	3 688	4 444	9 130	15 311	41 297
Робочі місця у сонячній та вітровій енергетиці – усього	12 761	14 000	4 968	4 968	7 928	8 575	9 440	10 555	12 233	14 641	17 755	34 520	58 538	159 513

ВИСНОВКИ

Україна здатна не лише повністю задовольнити свій внутрішній попит на електроенергію за допомогою сонячних та наземних вітряних електростанцій, розміщених на усього 1% з усіх придатних для цього земель — вона має значний потенціал з експорту енергії з відновлюваних джерел до країн ЄС. Для реалізації цього значного економічного потенціалу необхідно зміцнити наявні лінії електропередачі та побудувати нові, щоб міцніше поєднати мережі України та ЄС.

Відновлювана енергетика зможе забезпечити додатковий дохід для економіки України та створити робочі місця з можливістю довгострокового працевлаштування.

³IRENA 2023B, IRENA and ILO (2023), Renewable energy and jobs: Annual review 2023, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi and International Labour Organization, Geneva, ISBN: 978-92-9260-552-0

Довіскова інформація: Кліматична модель «Єдина Земля» (One Earth Climate Model, OEM)

Безсумнівно, зміни клімату, що відбувалися впродовж останніх 250 років, спричинені антропогенною діяльністю. Насправді викиди парникових газів, спричинені людством, нагрівають атмосферу планети навіть більше, ніж це наразі спостерігається у рамках зміни клімату, адже певну частку цього спричиненого парниковими газами потепління приховує ефект аерозольних викидів. Викиди діоксиду вуглецю є настільки значними, що стали рушійною силою антропогенних кліматичних змін. Один-єдиний кілограм CO₂ з викидів підвищує концентрацію CO₂ в атмосфері на сотні, а то й тисячі років.

У Паризькій кліматичній угоді зазначено, що «необхідно докласти зусиль зі скорочення викидів для <...> стримання зростання глобальної середньої температури значно нижче 2° C понад доіндустріальні рівні». Більш детальні оцінки вуглецевого бюджету, покликані сприяти досягненню цієї мети, містяться у Шостому експертному звіті робочої групи Міжурядової групи експертів зі зміни клімату (МГЕЗК). У МГЕЗК стверджують, що глобальний вуглецевий бюджет у розмірі 400 ГтCO₂ – необхідна умова утримання зростання температури в межах 1,5°C до 2050 року з імовірністю у 67%. Для досягнення цієї мети країни подали орієнтовні національно визначені внески (НВВ), у яких прописано їх заходи боротьби зі зміною клімату починаючи з 2020 року. Реалізація цих амбітних цілей потребує шляхів підвищення енергоефективності та зменшення наслідків зміни клімату.

У 2017 році Інститут сталого майбутнього (ISF) Технологічного університету Сіднея (UTS) започаткував міждисциплінарний проєкт⁴ із розробки практичних шляхів досягнення кліматичних цілей Паризької угоди шляхом докладного висхідного дослідження потенціалу енергетичного сектору, щоб у майбутньому не доводилося покладатися на досягнення чистого негативного балансу викидів. Спочатку цей звіт було оприлюднено у вільному доступі на Springer⁵, у вигляді книги на 500 сторінок. У 2022 році було опубліковано другу книгу, у якій наведено докладні дороговкази для понад 20 галузей, зокрема для хімічної промисловості, сталеваріння, цементної та алюмінієвої промисловостей⁶.

Кліматичну модель «Єдина Земля» (One Earth Climate Model, OEM) зосереджено на розробці шляхів декарбонізації з високою технічною та географічною деталізацією. Окрім того, OEM також розглядає шляхи вирішення проблеми викидів, не пов'язаних з енергетикою, та заходи пом'якшення їх впливу – адже ці викиди необхідно враховувати, якщо ми й справді хочемо досягти цілей Паризької Угоди. Дослідження сценаріїв не здатні передбачати майбутнє. Натомість сценарії дозволяють розписати необхідні дії для торування шляху, що приведе до обмеження потепління до певного рівня, та буде здійсненим з точки зору впровадження технологій та залучення інвестицій. Сценарії також дають змогу досліджувати можливі наслідки перехідних процесів, як-от витрати на доставку та викиди. Сценарії попиту й пропозиції на енергію, описані в цьому дослідженні, побудовано на основі інформації про наявні енергетичні структури, а також сучасних знань про енергетичні ресурси та про витрати, пов'язані з їх розгортанням. Дослідження за Кліматичною моделлю «Єдина Земля» (OEM) також враховує, наскільки це можливо, потенційні регіональні обмеження та переваги.

На додачу до розробки конкретних сценаріїв переходу на 100% відновлюваної енергії для окремих країн, ISF розширив цю методику і тепер може пропонувати шляхи розвитку енергетики відповідно до вимог, що висувуються до окремих галузей (на кшталт сталеварної, алюмінієвої та хімічної промисловостей) у рамках встановленої Паризької угодою мети у 1,5°C. У 2022 році Кліматична модель «Єдина Земля» (OEM 2.0) була єдиною інтегрованою моделлю оцінки енергетики з найвищою деталізацією за галузями промисловості, потребами енергозабезпечення житлового сектору й транспорту, а також географічною ознакою. Щоб задовольнити потреби країн, що розвиваються, OEM 2.0 здатна враховувати спеціальні застереження щодо засобів приготування їжі, від кухонних плит на дровах до індукційних електроплит. Відколи розпочався цей дослідницький проєкт, Інститут сталого майбутнього Технологічного університету

⁴ У співпраці з Німецьким аерокосмічним центром (Deutsches Zentrum für Luft-und Raumfahrt, DLR) та Університетом Мельбурна (University of Melbourne)

⁵ Teske, S. et al. (2019). Methodology. In: Teske, S. (eds) Achieving the Paris Climate Agreement Goals. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-05843-2_3

⁶ Teske S (ed.) (2022) Achieving the Paris Climate Agreement Goals (part 2). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-99177-7_1

Сіднея (UTS-ISF) провів аналіз енергетики для окремих країн, від держав Глобального півдня (зокрема, Танзанії) до індустріально розвинених держав.

Кліматична модель «Єдина Земля» охоплює всі галузі досліджень, необхідні для розробки детального шляху енергетичного розвитку, починаючи від використання сонячної енергетики, офшорної та наземної вітрової енергетики, прогнозів попиту для понад 20 різних галузей промисловості та обслуговування, комерційних та житлових будівель, а також транспорту – від авіації та судноплавства до залізничних та автомобільних перевезень пасажирів і вантажів.

Це дослідження зосереджено на першому етапі концепції ОЕСМ, а саме на аналізі потенціалу сонячної та вітрової енергетики.

Обсяг дослідження

Аналіз енергетичного сектору від UTS/ISF із залученням Кліматичної моделі «Єдина Земля» (OECM) охоплює такі аспекти:

1. Ресурсний аналіз сонячної енергетики, що базується на основі даних ГІС в умовах обмеженої доступності земельних ділянок. З масиву доступних земельних ділянок виключено землі природоохоронного фонду, ділянки зі стрімким схилом, а також ділянки з певним типом покриття, як-от густі ліси, водно-болотні угіддя та постійні водойми.
2. Ресурсний аналіз наземної вітрової енергетики, що базується на основі даних ГІС в умовах обмеженої доступності земельних ділянок. З масиву доступних земельних ділянок виключено землі природоохоронного фонду, ділянки зі стрімким схилом, а також ділянки з певним типом покриття, як-от густі ліси, водно-болотні угіддя та постійні водойми, а також території населених пунктів/забудовані території.
3. Глобальні тренди в енергетичному секторі:
 - Ринкові тенденції виробництва енергії
 - Технічна стаття: Сучасне децентралізоване виробництво електроенергії та безперебійність її постачання
4. Розробка презентації Power Point та онлайн-презентація на високопрофільному заході.

Технічний підхід та методологія

UTS-ISF розроблено багаторівневу методологію для окремих країн та шляхів розвитку енергетики за секторами. Весь процес моделювання базується на чотирьох модулях, розроблених UTS-ISF і пов'язаних з Кліматичною моделлю «Єдина Земля» (OECM). У межах цього дослідницького проєкту задіяно лише перший модуль OECM, а саме інструмент аналізу потенціалу сонячної та вітрової енергетики «[R]E-SPACE».

Основна мета картування ГІС полягає у тому, щоб визначити наявні ресурси сонячної та вітрової енергії. Це також сприяє регіональному аналізу географічних і демографічних параметрів і наявної інфраструктури, яка може бути використана для розробки сценаріїв. Його буде використано для позначення ресурсів сонячної та вітрової енергетики, а також для обчислення попиту для кожного з регіонів. Щільність населення, розподіл за типами економічної діяльності та прогнозування є ключовими вхідними параметрами аналізу енергетики для конкретного регіону.

Опис проєкту

Розвиток комплексного потенціалу сонячної та вітрової енергетики в Україні як основа концепції «Зеленої відбудови». ГІС-дані цього дослідження (з роздільною здатністю 250 м x 250 м) буде надано замовнику, а також Уряду України.

До другого робочого пакету входить стислий виклад останніх тенденцій в сфері енергетики, зокрема технологічні тенденції у виробництві електроенергії, зростання її собівартості впродовж останніх років, а також інтегровані та автономні мікромережі.

Цей аналіз має на меті закласти основу для деталізованої концепції попиту та пропозиції енергії в Україні.

Робочі пакети

Розробку цього сценарію буде розбито на такі робочі пакети:

- I. Збір даних, оцінка відновлюваних ресурсів
- II. Галуzeвий аналіз: світові тенденції у виробництві електроенергії та децентралізованому енергопостачанні
- III. Презентація та публікація

1. УКРАЇНА: ПОТЕНЦІАЛ ВІДНОВЛЮВАНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

Потенціал сонячної та вітрової енергетики в Україні було взято за вхідні дані для розробки сценарію розвитку енергетики. У цьому розділі ми оцінюємо технічний потенціал в умовах обмеженого простору.

1.1 Методика [R]E SPACE

Методика [R]E Space є частиною методології Кліматичної моделі «Єдина Земля» (ОЕСМ). Для перевірки доступності відновлювальних джерел енергії (сонця й вітру) в Україні було застосовано картування ГІС. Його ж було використано при здійсненні аналізу географічних та демографічних показників, а також наявної інфраструктури (яку можна враховувати у подальшій розробці сценаріїв) за регіонами. картування здійснювалося за допомогою програмного забезпечення ESRI ArcGIS10.6.1, що дозволяє здійснювати просторовий аналіз та картувати результати. За його допомогою було визначено ресурси сонячної та вітрової енергетики для семи регіонів моделювання. Ключовими вхідними даними для аналізу майбутньої енергетичної ситуації в Україні (з деталізацією за регіонами) стали щільність населення, доступ до електроенергетичної інфраструктури та прогнози економічного розвитку. Це дозволило уточнити вимоги до додаткових потужностей електромережі та/або мікромереж.

Методика [R]E Space є частиною методології Кліматичної моделі «Єдина Земля» (ОЕСМ), що дозволяє картувати потенціал сонячної та наземної вітрової енергетики. Для візуалізації країни, а також її окремих областей та районів було зібрано й оброблено дані та мапи з багатьох відкритих джерел. У подальшому їх було доповнено демографічними даними (склад населення та рівень бідності), які було нанесено на мапи разом з мережами електропередачі та електростанціями. Основні джерела даних та пропущення, зроблені в рамках цього картування, наведено у Таблиці 1.

Таблиця 1: Україна – [R]E 24/7 – ГІС- картування – джерела даних

Дані	Вихідні положення	Джерела
Ґрунтово-рослинний покрив	Типи ґрунтово-рослинного покриву, придатні для виробництва сонячної та вітрової енергії, визначено за Copernicus Global Land Cover 2019.	Copernicus Global Land Cover - 2019 ⁷
Цифрова модель рельєфу (DEM)	З усіх сценаріїв і для сонячної, і для вітрової енергетики було виключено земельні ділянки з нахилом понад 30%.	SRTM Digital Elevation Data Version 4 ⁸
Землі природоохоронного фонду	Усі землі природоохоронного фонду (національні парки, заповідники, мисливські заказники, природоохоронні території та буферні зони) було виключено з усіх сценаріїв.	World Database on Protected Areas ⁹
Інтенсивність сонячного випромінювання (пряме нормальне опромінення: DNI)	Середньорічні значення прямої нормальної інсоляції/опромінення (DNI) коливаються в межах від 1 до 5 МВтг/м ² на рік (2,7–13,6 кВтг/м ² на день).	Global Solar Atlas ¹⁰
Швидкість вітру	Розглядалися ділянки, де швидкість вітру на висоті 100 м над поверхнею ≥ 5 м/с.	Global Wind Atlas ¹¹

Процедуру картування простору [R]E Space зображено в узагальненому вигляді на Рис. 1. Облік та візуалізацію земельних площ, доступних для потенційного виробництва сонячної та вітрової енергії, було здійснено у ArcGIS. Мапа ґрунтово-рослинного покриву, а також дані про рельєф (цифрова модель рельєфу: DEM), світова база природоохоронних територій, дані про сонячне опромінення (пряме нормальне опромінення: DNI) і швидкість вітру було отримано з вищезазначеного вебсайту у вигляді растрових даних,

⁷ Copernicus Global Land Cover – 2019: <https://land.copernicus.eu/global/products/lc>

⁸ SRTM Digital Elevation Data Version 4: <https://srtm.csi.cgiar.org/>

⁹ World Database on Protected Areas: <https://www.protectedplanet.net/en/thematic-areas/wdpa?tab=WDPA>

¹⁰ Global Solar Atlas: <https://globalsolaratlas.info/map>

¹¹ Global Wind Atlas: <https://globalwindatlas.info/en>

які потім були перетворені на двійкові мапи (де 0 було позначено ділянки, непридатні для потенційного використання, а 1 – придатні) у співвідношенні з припущеннями з Таблиці 1, а потім об'єднано в єдину бінарну мапу шляхом нашарування усіх растрових даних. Ця мапа поєднує в одному місці усі дані за критеріями, наведеними вище (1 = потенційно придатна ділянка, 0 = непридатна ділянка).

Дані про лінії електропередачі та природоохоронні території існують як векторні дані. Усі природоохоронні території було виключено з вищезгаданого значення 1 в інтегрованих растрових даних додаванням шару маски, створеної за допомогою функції «гумка». Для Сценарію 2 було створено буферні шари з даними про лінії електропередачі (та буферними зонами у 10 км), а потім растрові дані (за виключенням природоохоронних територій) було обрізано цими буферними шарами, щоб створити мапи потенційних земельних ділянок за Сценарієм 2. Ці вхідні дані було введено для обчислення та створення моделі [R]E 24/7 (як описано нижче).

Застереження: Критерії навколишнього середовища, використані для визначення ділянок, придатних для втілення масштабних проєктів сонячної та вітрової енергетики, не співпадають з критеріями, встановленими поточним законодавством України, а наведені значення потенціалу є приблизними та можуть бути більшими.

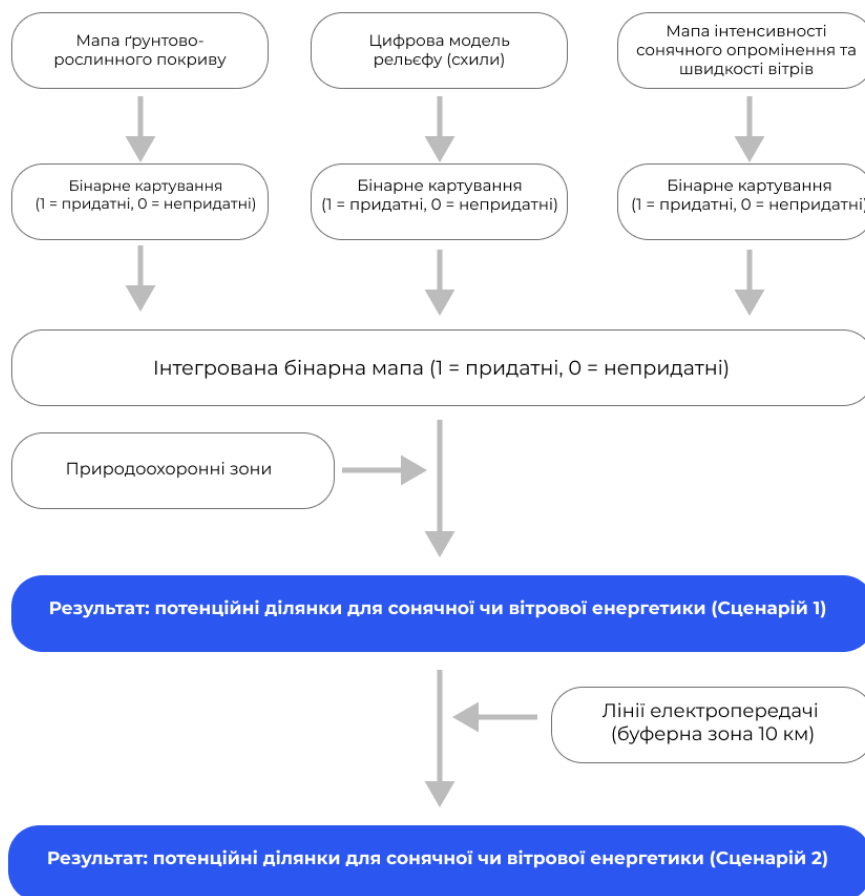


Рис. 1: Методика [R]E Space: аналіз потенціалу сонячної та вітрової енергетики

1.1.1 [R]E SPACE: передбачувані обмеження, зумовлені цільовим призначенням земель

RE-SPACE засновано на підході Геоінформаційних систем (ГІС). Ця методика дозволяє створювати мапи потенціалу використання сонячної та вітрової енергетики у середовищах з обмеженим простором. ГІС намагається імітувати процеси, що відбуваються в реальному світі в певний момент часу або впродовж тривалого періоду. Основною метою картування ГІС є визначення наявності ресурсів відновлюваної енергії (насамперед енергії сонця й вітру) для кожного регіону. Воно також пропонує огляд наявної електроенергетичної інфраструктури для викопного палива та відновлюваних джерел енергії.

Щоб оцінити потенціал відновлюваної енергії, виходячи з наявної площі придатних земельних ділянок, було

застосовано методику [R]E-SPACE для аналізу регіонів та субрегіонів, що відповідали умовам сценарію, для кількісного визначення доступних земельних площ (у квадратних кілометрах) зі встановленням набору обмежень для сонячних панелей та наземних вітрових установок:

- природоохоронні території;
- ділянки зі стрімкими схилами (>30%);
- певні типи ґрунтового-рослинного покриву (як-от густі ліси, водно-болотні угіддя, мохи і лишайники, сніг, крига і вода) для і сонячної, і вітрової енергетики; землі населених пунктів та забудови — для наземної вітрової енергетики.

1.2 Картування України

Україна має великий невикористаний потенціал для розвитку відновлюваної енергетики. У 2021 році 55% української електроенергії було видобуто з ядерної енергії, 23,2% — з вугілля, 6,3% — з газу та 1,1% — з інших видів викопного палива. Решту (13,9%) електроенергії було отримано з відновлюваних джерел, найбільшу роль серед яких відіграє гідроенергетика (6,8%), потім йдуть сонячні фотоелектричні системи (3,8%), вітроенергетика (2,9%) та біоенергія (0,5%)¹².

1.2.1 Національний потенціал використання сонячної енергетики

Середньорічний рівень сонячного випромінювання (DNI) в Україні коливається між близько 950 та 1500 кВт-г/м² на добу; верхня межа цього діапазону припадає на південну частину держави.

Потенціал сонячної енергетики в Україні було картовано за двома окремими сценаріями:

Сценарій 1. Включає всі доступні землі, за винятком земель природоохоронного фонду (РА), а також земель з надзвичайно складною топографією (нахил понад 30%, певні типи ґрунтового покриву, густі ліси, водно-болотні угіддя, мох і лишайники) вкривання снігом і кригою, а також водою (постійні водойми) (LU).

Сценарій 2. Див. Сценарій 1, з додатковими обмеженнями у вигляді виключення земельних ділянок, розташованих за ≤ 10 км від наявних ліній електропередачі (PT10).

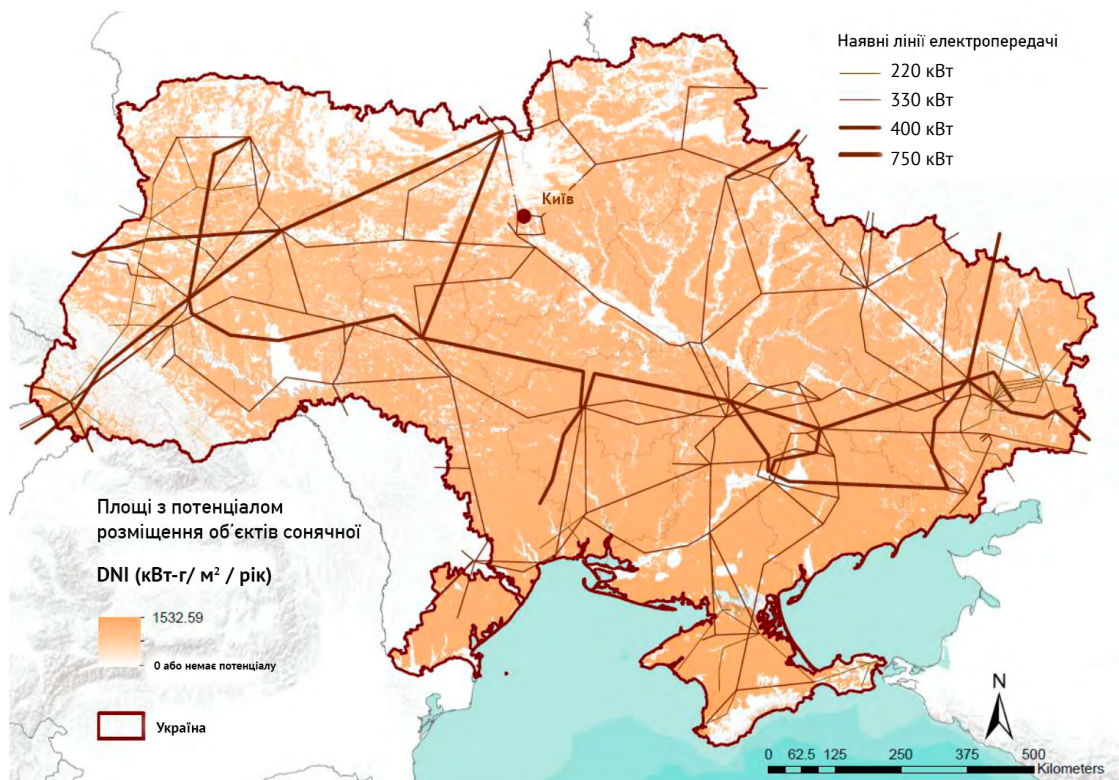


Рис. 2: Сценарій 1: потенціал сонячної енергетики в Україні — обмеження за видами землекористування

¹² CSR in energy and agrarian sectors of Ukraine; Associate Prof. of Management and Marketing Department at Ukrainian National Forestry University (Lviv) Andrii Holovko

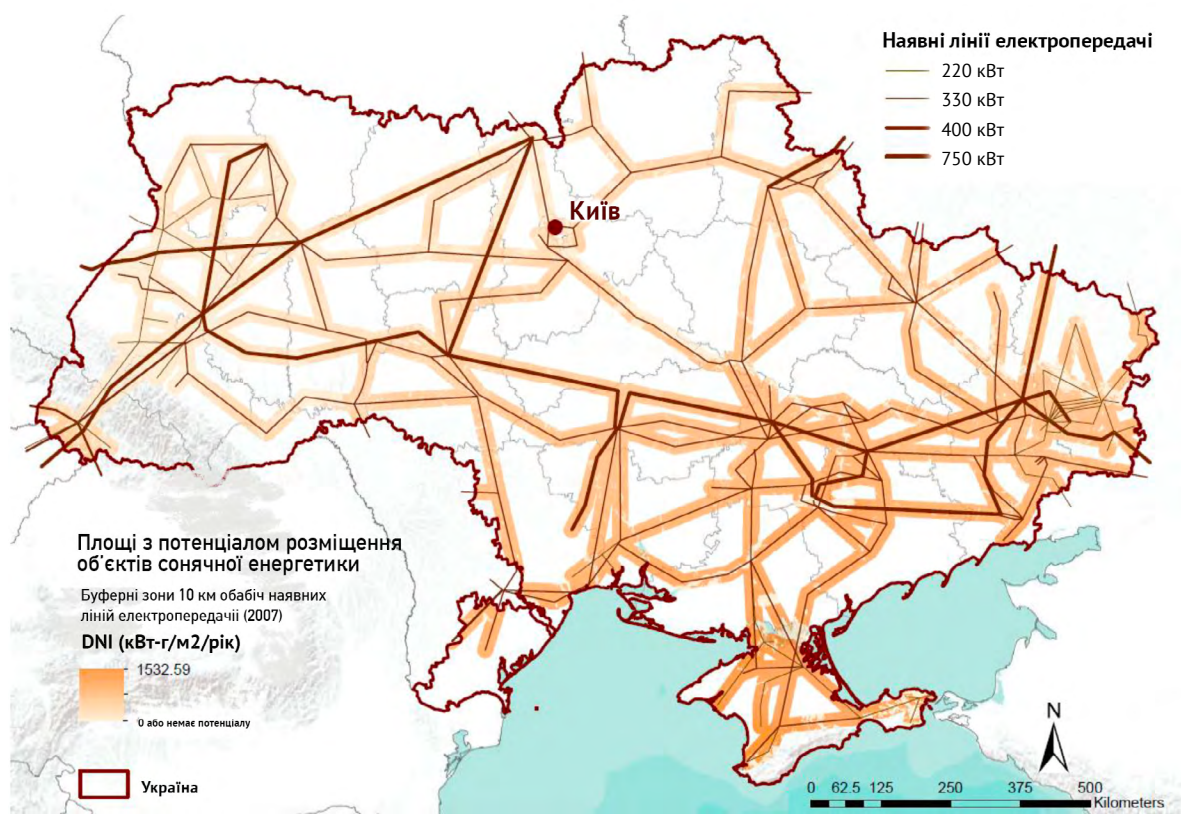


Рис 3: Сценарій 1: потенціал сонячної енергетики в Україні – обмеження за критерієм близькості до ліній електропередачі

Таблиця 2: Потенціал України з використання фотоелектричних панелей:

	Площі з потенціалом для розміщення масштабних об'єктів сонячної енергетики	Потенціал сонячної енергетики, закладена потужність	Потенціал сонячної енергетики, щорічне виробництво (коефіцієнт потужності 12%)
	[км²]	[ГВт]	[ТВт-г/рік]
Україна (з АРК включно)			
Сценарій 1 – теоретично придатні площі	452 042	11 301	11 866
Сценарій 2 – мінімальна відстань до мережі 10 км	203 379	5 084	5 339

На Рис. 2 показано результати просторового аналізу потенційних площ під розміщення об'єктів сонячної енергетики за Сценарієм 1 (LU + PA + S30) – у сумі 452 042 км² із загальним потенціалом масштабних фотоелектричних потужностей 11 301 ГВт. Сценарій 1 виключає усі природоохоронні зони та ділянки з ухилами > 30%, оскільки встановлення сонячних панелей на крутих схилах є дорожчим, до того ж такі схили зазвичай віддалені від центрів попиту на електроенергію. Ділянки, вкриті рідколіссям та чагарниками, трав'янистою рослинністю, з незначним або відсутнім рослинним покривом, а також землі сільськогосподарського призначення, території населених пунктів/забудовані території, що включені у набір даних Copernicus Global Land Cover 2019 dataset¹³, включені до сценарію. Втім, окремі типи ґрунтово-рослинного покриття (земельні ділянки з густими лісами, водно-болотні угіддя, ділянки, вкриті мохами та лишайниками, снігом та кригою, а також постійні водойми) виключено зі сценаріїв, в рамках яких розглядається потенціал сонячної енергетики.

¹³ Buchhorn et. al. 2020, Buchhorn, M.; Lesiv, M.; Tsendbazar, N. - E.; Herold, M.; Bertels, L.; Smets, B. Copernicus Global Land Cover Layers-Collection 2. Remote Sensing 2020, 12 Volume 108, 1044. doi:10.3390/rs12061044

На Рис. 3 зображено потенційні прощі під розміщення об'єктів сонячної енергетики за Сценарієм 2 (LU + RA + S30 + PT10). Коли земельні прощі обмежено за критерієм наближеності до ліній електропередачі (10 км), потенційна площа земель, придатних до використання у сонячній енергетиці, зменшується до 203 379 км². Хоча це обмеження за критерієм наближеності до мережі електропередачі призводить до значного зниження потенціалу сонячної енергетики, навіть залишковий потенціал все одно значно перевищує попит на електроенергію в Україні. За сценарієм 2, масштабні сонячні ферми із загальною потужністю у 5 084 ГВт можуть розміщуватися по всій території України, і їх загальний річний обсяг виробництва електроенергії перевищуватиме 5 000 ТВт-г (див. Таблицю 2). Розрахункова генерація сонячної електроенергії базується на середньому рівні сонячного опромінення по всій території України. Сонячні модулі потужністю в 1 кіловат, встановлені на крайньому півдні держави, вироблятимуть на 50% більше електроенергії ніж такі ж, встановлені на півночі. Проте цю технологію можна використовувати у будь-якій точці України. Насправді сонячні фотоелектричні модулі використовуються навіть в Арктиці. У 2023 році Норвегія встановила найпівнічнішу у світі наземну сонячну панель на своєму архіпелазі Свальбард (Шпіцберген) – попри те, що регіон щороку поринає у темряву з початку жовтня до середини лютого¹⁴.

1.2.2 Потенціал сонячної енергетики (за областями)

Національний потенціал використання сонячної енергетики за обома сценаріями було додатково розбито за областями України (та АРК). У Таблиці 3 наведено огляд усіх територій, придатних для встановлення фотоелектричних установок загального масштабу та можливу закладену потужність у кожній з областей (та АРК).

Таблиця 3: Потенціал сонячної енергетики в Україні за областями

Сонячна енергетика – Сценарій 1			Сонячна енергетика – Сценарій 2	
Сценарій 1 – Україна в цілому	Площа (км ²)	Потенціал (МВт)	Площа (км ²)	Потенціал (МВт)
Автономна Республіка Крим	18 942	473 556	12 325	308 134
Вінницька обл.	23 240	580 994	11 036	275 903
Волинська обл.	11 482	287 038	6 185	154 616
Дніпропетровська обл.	28 290	707 250	17 957	448 914
Донецька обл.	23 576	589 408	15 876	396 906
Житомирська обл.	18 796	469 891	7 386	184 658
Закарпатська обл.	3 844	96 106	2 604	65 108
Запорізька обл.	24 615	615 378	10 903	272 584
Івано-франківська обл.	6 251	156 277	3 647	91 180
м. Київ	405	10 134	386	9 645
Київська обл.	19 016	475 405	6 981	174 514
Кіровоградська обл.	22,698	567 444	12 451	311 286
Луганська обл.	21 794	544 855	12 975	324 369
Львівська обл.	12 495	312 375	7 756	193 888
Миколаївська обл.	22 625	565 622	10 018	250 453
Одеська обл.	29 313	732 833	8 572	214 300
Полтавська обл.	22 350	558 738	7 060	176 511
Рівненська обл.	10 739	268 478	3 475	86 883
м. Севастополь	49	1 233	27	683
Сумська обл.	16 448	411 211	7 503	187 581
Тернопільська обл.	11 045	276 128	5 362	134 052
Харківська обл.	25 199	629 969	9 098	227 444
Херсонська обл.	21 390	534 753	7 381	184 522
Хмельницька обл.	15 461	386 534	7 380	184 494
Черкаська обл.	16 714	417 852	3 508	87 694
Чернівецька обл.	5 276	131 892	1 268	31 702
Чернігівська обл.	19 988	499 695	4 259	106 463
ЗАГАЛОМ	452 042	11 301 047	203 379	5 084 484

¹⁴ Solar panels installed in remote Arctic community to power green energy transition Svalbard archipelago solar panel installation. By Rory Elliott Armstrong & Euronews Green with AFP Published on 19/09/2023, <https://www.euronews.com/green/2023/09/19/solar-panels-installed-in-remote-arctic-community-to-power-green-energy-transition>

1.2.3 Потенціал використання наземних вітрових установок

Як порівняти з сонячною енергією, загальний ресурс вітрової енергії на суходолах України є нижчим. За даними Global Wind Atlas, в Україні швидкість вітру на висоті 100 м над поверхнею коливається між 1,3 та 12,5 м/с. У межах цього аналізу було розглянуто лише території з середньорічною швидкістю вітру ≥ 5 м/с.

Потенціал вітроенергетики в Україні було картовано за двома окремими сценаріями.

Поточне використання енергії вітру в Україні включає потужні вітрові турбіни (до 10 МВт), що працюють і як частина мережі електропостачання, і поза мережею (для заряджання акумуляторів).

«Сценарій 1»: До переліку доступних земель не входять землі природоохоронного фонду, землі зі складною топографією (нахил $> 30\%$, S30), а також ті, що наразі перебувають у користуванні (включно з лісами та територіями населених пунктів) (LU). (Рис. 4).

«Сценарій 2»: Див. «Сценарій 1», з додатковими обмеженнями у вигляді виключення земельних ділянок, розташованих за ≤ 10 км від наявних ліній електропередачі (РТ10) (Рис. 5).

Рідколісся, чагарники, ділянки з трав'янистою рослинністю, з незначним або відсутнім рослинним покривом, а також землі сільськогосподарського призначення (LU) було включено до розгляду в рамках обох сценаріїв, тоді як ділянки, вкриті густими лісами, мохами та лишайниками, водно-болотні угіддя, території населених пунктів/забудовані території, сніг та лід, а також постійні водойми було виключено при здійсненні аналізу потенціалу вітрової енергетики.

Виходячи з припущень «Сценарію 1», Україна має потенціал наземної вітроенергетики. Теоретично, виробленої за рік енергії має бути достатньо для шестикратного покриття поточного попиту на електроенергію цілого Європейського Союзу. На Рис. 4 показано потенціал наземної вітрової енергетики в Україні за типами землекористування, але без інфраструктурних обмежень, а на Рис. 5 — потенціал з обмеженням розміщення об'єктів вітрової енергетики в межах ≤ 10 км від мережі електропередачі. Таблиця 4 наводить точні показники для обох сценаріїв на доступних земельних площах, для закладеної потужності, та потенціал щорічного виробництва з коефіцієнтом потужності у 35%.

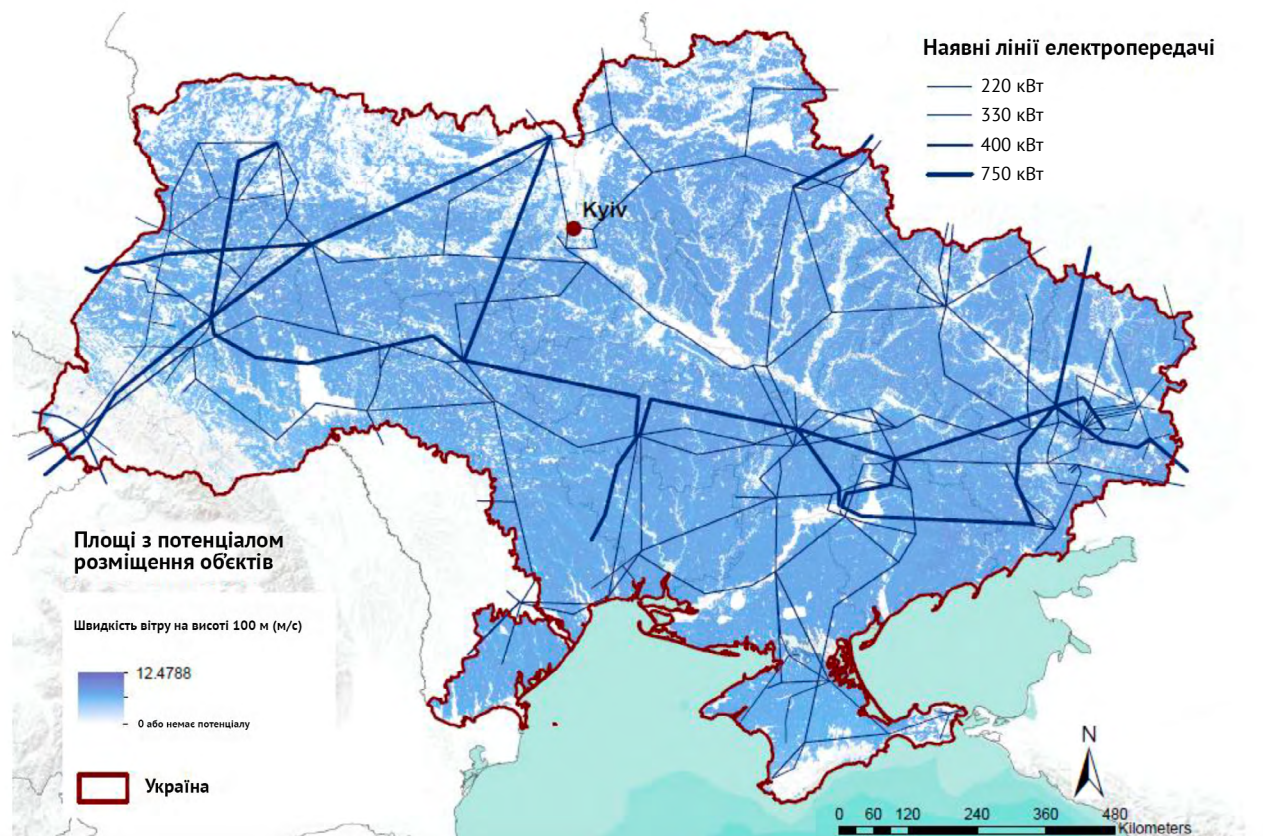


Рис. 4: Сценарій 1: потенціал наземної вітрової енергетики в Україні — обмеження за видами землекористування, але без інфраструктурних обмежень

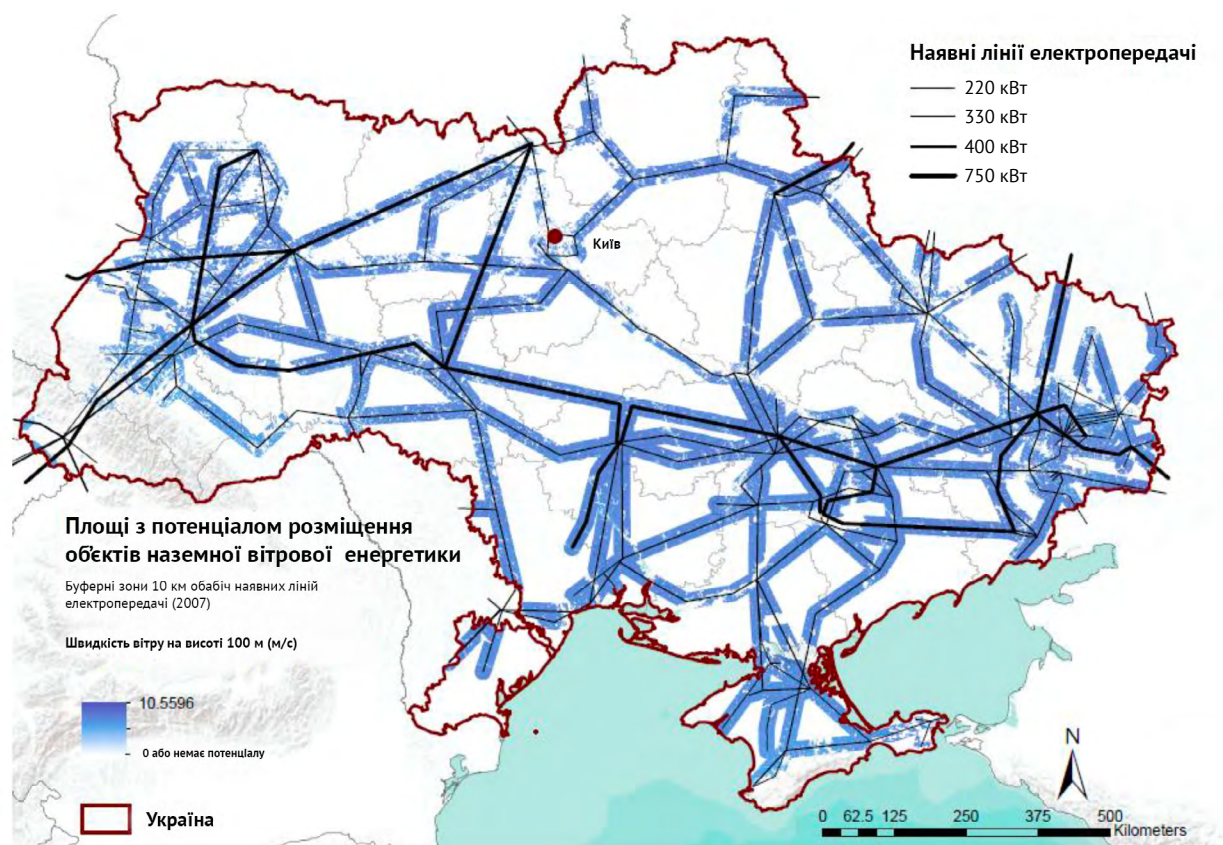


Рис. 5: Сценарій 1: потенціал наземної вітрової енергетики в Україні – обмеження за критерієм близькості до ліній електропередачі

Таблиця 4: Потенціал України з використання наземних вітряних установок

	Площі з потенціалом для розміщення вітряних установок (наземних)	Потенціал вітрової енергетики, закладена потужність	Потенціал вітрової енергетики, щорічне виробництво (коефіцієнт потужності 35%)
	[км ²]	[ГВт]	[ТВт-г/рік]
Україна (з АПК включно)			
Сценарій 1 – теоретично придатні площі	429 249	2 146	6 546
Сценарій 2 – мінімальна відстань до мережі 10 км	189 950	950	2 897

1.2.4 Потенціал використання наземних вітрових установок (за областями)

У Таблиці 5 наведено огляд усіх територій, придатних для встановлення вітряних установок загального масштабу та можливу закладену потужність у кожній з областей (та АПК).

Таблиця 5: Потенціал вітрової енергетики України за областями

Наземна вітрова енергетика – Сценарій 1			Наземна вітрова енергетика – Сценарій 2	
Сценарій 1 – Україна в цілому	Площа (км ²)	Потенціал (МВт)	Площа (км ²)	Потенціал (МВт)
Автономна Республіка Крим	17 524	87 618	11 477	57 383
Вінницька обл.	22 373	111 867	10 619	53 093
Волинська обл.	11 196	55 979	5 965	29 824
Дніпропетровська обл.	26 663	133 314	16 676	83 378
Донецька обл.	21 873	109 363	14 628	73 138
Житомирська обл.	18 223	91 114	7 130	35 648
Закарпатська обл.	841	4 206	524	2 620
Запорізька обл.	23 775	118 874	10 345	51 727
Івано-франківська обл.	5 864	29 318	3 478	17 388
м. Київ	106	531	99	494
Київська обл.	17 702	88 510	6 290	31 448
Кіровоградська обл.	22 157	110 786	12 150	60 749
Луганська обл.	20 614	103 070	12 160	60 802
Львівська обл.	12 314	61 569	7 332	36 662
Миколаївська обл.	22 029	110 145	9 741	48 706
Одеська обл.	28 047	140 235	8 090	40 451
Полтавська обл.	21 464	107 321	6 672	33 362
Рівненська обл.	10 477	52 384	3 319	16 594
м. Севастополь	1	4	0	1
Сумська обл.	15 679	78 397	7 193	35 964
Тернопільська обл.	10 637	53 187	5 159	25 796
Харківська обл.	24 050	120 249	8 329	41 644
Херсонська обл.	20 747	103 737	7 070	35 348
Хмельницька обл.	14 922	74 609	7 063	35 317
Черкаська обл.	15 963	79 815	3 305	16 523
Чернівецька обл.	4 677	23 384	1 079	5 393
Чернігівська обл.	19 331	96 656	4 060	20 298
ЗАГАЛОМ	429 249	2 146 243	189 950	949 748

2. УКРАЇНА: ЕНЕРГОЕКОНОМІЧНЕ ЗНАЧЕННЯ ПОТЕНЦІАЛУ СОНЯЧНОЇ ТА ВІТРОВОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

Енергоекономічне значення потенціалу виробництва сонячної та наземної вітрової електроенергії в Україні стає очевидним у порівнянні з внутрішнім попитом на електроенергію. Виходячи зі Сценарію 1, лише 0,46% сонячного та 0,4% вітрового потенціалу буде достатньо для забезпечення електроенергією усіх потреб держави.

За більш реалістичного припущення про використання енергії сонця й вітру лише на ділянках, віддалених від високовольтних мереж на більш ніж 10 км, Україна змогла б задовольнити свій загальний попит на електроенергію (за рівнем 2021 року) лише з 1% з усіх ділянок, придатних для встановлення сонячних панелей та вітрових установок.

Україна має величезний потенціал виробництва сонячної та вітрової енергії, що перевищує її поточний внутрішній попит (125 ТВт-г/рік). Навіть за умови жорстких обмежень використання земельних ділянок потенціал перевищує попит у майже 150 разів. Відповідно, для виробництва кількості електроенергії, достатньої для задоволення потреб усієї країни, вистачить лише невеликого відсотка земель, теоретично придатних для їх використання у сонячній та вітровій енергетиці.

Потенціал використання відновлюваних джерел енергії не передбачає жодних обмежень — навіть якщо виходити з припущення, що у майбутньому декарбонізація енергопостачання в Україні зросте в три чи навіть у чотири рази внаслідок посиленої електрифікації транспортного сектору, переходу на опалення житлових приміщень за допомогою теплових насосів, а також промислового опалення синтетичним паливом (як-от водень та аміак) та за допомогою промислових теплових насосів. Ба більше, окрім сонячної та наземної вітрової енергії Україна може використовувати офшорну вітрогенерацію, біоенергію, геотермальну енергію та гідроенергію. Втім, аналіз потенціалу цих джерел енергії виходить за межі даного дослідження.

Таблиця 6: Україна: потенціал забезпечення енергією сонця й вітру порівняно з внутрішнім попитом

Україна (з АРК включно) Попит на електроенергію у 2021 році: 125 ТВт-г/рік	Потенціал сонячної енергетики, закладена потужність	Потенціал сонячної енергетики, щорічне виробництво (коефіцієнт потужності 12%)	Потенціал вітрової енергетики, закладена потужність	Потенціал вітрової енергетики, щорічне виробництво (коефіцієнт потужності 35%)	Потенціал сонячної + вітрової енергетики, закладена потужність	Потенціал сонячної + вітрової енергетики, щорічне виробництво	Фактор пропозиції (сонячна + вітрова енергетика)
	[ГВт]	[ТВт-г/рік]	[ГВт]	[ТВт-г/рік]	[ГВт]	[ТВт-г/рік]	[1]
Сценарій 1 — теоретично придатні площі	11 301	11 866	2 146	6 546	13 447	18 460	148
Сценарій 2 — мінімальна відстань до мережі 10 км	5 084	5 339	950	2 897	6 034	8 257	66

2.1 Потенціал експорту енергії з відновлюваних джерел

Значні ресурси України, доступні для використання у сонячній та наземній вітровій енергетиці, можуть не лише задовольняти внутрішній попит, але й генерувати енергію на експорт до сусідніх держав. Експорт енергії може здійснюватися або у формі електроенергії (через електромережі), або у формі водню чи іншого синтетичного палива (виробленого за допомогою електроенергії з відновлюваних джерел) через трубопровід, або шляхом доставки танкерами — суходелом або морем.

Щоб надати перспективу потенціалу сонячної та вітрової енергетики в Україні, порівняймо його з потенціалом відновлюваної енергетики у Євросоюзі загалом (ЄС27) та потенціалом окремих європейських країн, досвід яких було покладено в основу розрахунків щодо шляхів передбаченого Паризькою угодою утримання глобального потепління в межах 1,5°C. Такий дослідницький проєкт було здійснено у 2023 році на замовлення Фінансової ініціативи ЮНЕП та скликаного ООН Альянсу власників вуглецево-нейтральних активів¹⁵.

¹⁵ Teske et. al. 2023, Teske, S., Rispler, J., Niklas, S. et al. Net-zero 1.5 °C sectorial pathways for G20 countries: energy and emissions data to inform science-based decarbonization targets. SN Appl. Sci. 5, 252 (2023). <https://doi.org/10.1007/s42452-023-05481-x>

2.1.1 Земельні ділянки, доступні для розміщення об'єктів сонячної та вітрової енергетики – Україна і держави G20

У Таблиці 7 відображено площі, доступні для розміщення об'єктів сонячної та наземної вітрової енергетики в Україні та державах G20, виходячи з припущень та розрахунків, здійснених за методологією, описаною у розділі 1.1. Просимо зауважити, що площі, придатні для використання у сонячній та вітровій енергетиці, не можна складати, оскільки вони збігаються і це призведе до подвійного обліку земельних ділянок.

Якщо порівнювати з державами-учасниками Європейського союзу (ЄС27), ресурси і сонячної, і наземної вітрової енергетики майже дорівнюють аналогічним ресурсам Німеччини, Франції та Італії разом взятих. Ці ресурси можуть сприяти енергетичній безпеці європейців і сприяти швидшій декарбонізації економіки ЄС.

Таблиця 7: Україна: потенціал сонячної та вітрової енергетики порівняно з G20 (на суходолі)

	Територія держави [км ²]	Площа для потенційного розміщення об'єктів сонячної енергетики [км ²]	Частка території, придатна для розміщення масштабних потужностей сонячної енергетики	Площа для потенційного розміщення наземних об'єктів вітрової енергетики [км ²]	Частка території, придатна для розміщення масштабних потужностей наземної вітрової енергетики
Україна (з АРК включно)	599 895				
Сценарій 1 – теоретично придатні площі		452 042	75%	429 249	72%
Сценарій 2 – мінімальна відстань до мережі 10 км		203 379	34%	189 950	32%
Європа					
ЄС27 в цілому	4 119 785	1 376 011	33%	1 326 087	32%
Франція (G20 & G7)	549 048	265 645	48%	249 782	45%
Німеччина (G20 & G7)	357 625	57 852	16%	139 767	39%
Італія (G20 & G7)	300 769	158 780	53%	49 812	17%
Сполучене Королівство (G20 & G7)	244 928	1 134	0%	119 854	49%
Росія	16 930 400	2 667 510	16%	4 643 550	27%
Африка та Близький Схід					
Саудівська Аравія (G20)	1 924 460	1 682 780	87%	1 619 240	84%
Південна Африка (G20)	1 219 870	959 713	79%	793 516	65%
Америки					
Канада (G7 & G20)	9 963 910	2 095 810	21%	3 350 930	34%
Сполучені Штати Америки (G7 & G20)	9 473 400	4 810 580	51%	4 351 580	46%
Мексика (G20)	1 956 390	1 160 220	59%	491 606	25%
Бразилія (G20)	8 471 710	3 494 390	41%	1 682 680	20%
Аргентина (G20)	2 779 060	1 797 550	65%	1 932 520	70%
Азія та Австралія					
Туреччина (G20)	780 528	527 680	68%	229 396	29%
Південна Корея (G20)	98 801	32 823	33%	10 620	11%
Китай (G20)	9 345 830	5 151 340	55%	4 793 340	51%
Індія (G20)	3 150 160	2 839 050	76%	886 384	28%
Індонезія (G20) (IESR)	1 883 260	277 007	12%	24 890	1%
Японія (G7 & G20)	376 487	60 837	16%	21 340	6%
Австралія (G20)	7 685 420	5 140 920	67%	4 850 800	63%
G7 в цілому (за винятком ЄС27)	21 266 167	7 450 638	35%	8 283 065	39%
G20 в цілому (за винятком ЄС27)	60 561 656	30 014 111	50%	25 598 056	42%

Аналіз потенціалу сонячної та вітрової енергетики опубліковано у відкритому доступі за посиланням www.uts.edu.au/oecm

Виходячи з наявності підхожих земельних площ було обраховано закладену потужність енергетичних об'єктів та потенційні обсяги виробництва електроенергії на рік¹⁶. У контексті мережевого виробництва сонячної енергії розрахунки здійснювалися виходячи з припущення, що на кожен квадратний кілометр корисної площі можна встановити сонячні фотоелектричні модулі потужністю 25 МВт із середнім ККД 18%. Вищий ККД дозволить ще більше скоротити кількість модулів на 1 МВт. Крім того, при здійсненні розрахунків було

¹⁶ Miyake 2023, <https://mangomap.com/university-of-technology-sydney/maps/132307/solar-potential-area-in-g20?preview=true#> and <https://www.uts.edu.au/oecm/renewable-resource-mapping>

враховано, що певна частина зазначених площ буде відведена під облаштування під'їзних доріг та міжряддя (для здійснення технічного обслуговування), а отже, що сонячні модулі вкриватимуть не всю площу земельної ділянки. У випадку використання сільськогосподарських фотоелектричних систем (агровольтаїчних систем) модулі встановлюються високо над землею, що дозволяє використовувати простір під ними для вирощування сільськогосподарських та інших культур (для виробництва біоенергії чи біоматеріалів).

Щодо наземних вітрогенераторів виходили з пропущення, що встановлені турбіни матимуть потужність 2–3 МВт, а відстань між ними буде більшою за діаметр ротора приблизно в 6–7 разів. Стандартні вітряні турбіни потужністю 3 МВт з трьома лопатями, встановлені проти вітру, мають горизонтальну вісь і мають середній діаметр ротора від 115 м до 140 м (залежно від моделі та оптимізації для встановлення у прибережній смузі чи вглиб суходолу). Таким чином, було обраховано середнє значення потужності на 1 км² у 5МВт. Сонячні панелі та вітрову турбіни, під'єднані до загальної мережі, можна поєднати в межах спільної земельної ділянки – відповідно, енергетичний потенціал цієї ділянки зростає. Втім, через величезний потенціал використання сонячних панелі та вітрові турбіни зазвичай розміщуються на окремих земельних ділянках.

У Таблиці 8 показано потенціал сонячної та наземної вітрової енергетики усієї G20 – і закладену потужність у Гігаватах [ГВт], і розрахункове середньорічне виробництво у терават-годинах на рік [ТВт-г/рік]

Таблиця 8: Україна: потенціал сонячної та вітрової енергетики порівняно з G20 – енергетичні установки

	Потенціал сонячної енергетики, закладена потужність	Потенціал сонячної енергетики, щорічне виробництво (коефіцієнт потужності 12%)	Потенціал вітрової енергетики, закладена потужність	Потенціал вітрової енергетики, щорічне виробництво (коефіцієнт потужності 35%)	Потенціал сонячної + вітрової енергетики, закладена потужність	Потенціал сонячної + вітрової енергетики, щорічне виробництво	Поточний попит на електроенергію
	[ГВт]	[ТВт-г/рік]	[ГВт]	[ТВт-г/рік]	[ГВт]	[ТВт-г/рік]	[ТВт-г/рік]
Україна (з АРК включно)		1 051		3 066			125
Сценарій 1 – теоретично придатні площі	11 301	11 880	2 146	6 580	13 447	18 460	
Сценарій 2 – мінімальна відстань до мережі 10 км	5 084	5 345	950	2 912	6 034	8 257	
Європа							
ЄС27 в цілому	34 400	36 162	6 630	20 329	41 031	56 490	2,564
Франція (G20 & G7)	6 641	6 981	1 249	3 829	7 890	10 810	444
Німеччина (G20 & G7)	1 446	1 520	699	2 143	2 145	3 663	527
Італія (G20 & G7)	3 970	4 173	249	764	4 219	4 936	281
Сполучене Королівство (G20 & G7)	28,3485	29,7999432	599,27	1837,36182	627,6185	1 867	283
Росія	66 688	70 102	23 218	71 186	89 906	141 288	749
Африка та Близький Схід							
Саудівська Аравія (G20)	42 070	44 223	8 096	24 823	50 166	69 046	347
Південна Африка (G20)	23 993	25 221	3 968	12 165	27 960	37 386	189
Америки							
Канада (G7 & G20)	52 395	55 078	16 755	51 370	69 150	106 448	528
Сполучені Штати Америки (G7 & G20)	120 265	126 422	21 758	66 710	142 022	193 132	3 844
Мексика (G20)	29 006	30 491	2 458	7 536	31 464	38 027	266
Бразилія (G20)	87 360	91 833	8 413	25 795	95 773	117 628	537
Аргентина (G20)	44 939	47 240	9 663	29 626	54 601	76 865	123
Азія та Австралія							
Туреччина (G20)	13 192	13 867	1 147	3 517	14 339	17 384	260
Південна Корея (G20)	821	863	53	163	874	1 025	502
Китай (G20)	128 784	135 377	23 967	73 482	152 750	208 859	6 198
Індія(G20)	59 726	62 784	4 432	13 588	64 158	76 373	1 255
Індонезія (G20) (IESR)	5 675	5 966	124	382	5 800	6 347	289
Японія (G7 & G20)	1 521	1 599	107	327	1 628	1 926	898
Австралія (G20)	128 523	135 103	24 254	74 363	152 777	209 466	212
G7 в цілому (за винятком ЄС27)	186 266	195 803	41 415	126 979	227 681	322 782	6 805
G20 в цілому (за винятком ЄС27)	750 353	788 771	127 990	392 418	878 343	1 181 189	16 983



Рис. 6: Україна: потенціал виробництва сонячної та вітрової енергії порівняно з державами ЄС

2.1.2 Інфраструктура для експорту енергії

Експорт електроенергії з відновлюваних джерел, або газів і палива, виготовлених за допомогою такої енергії, вимагає наявності спеціальної, орієнтованої на експорт, енергетичної інфраструктури. Потужність високовольтних ліній електропередачі має бути значно більшою за ту, що розрахована на обмежений енергообмін з сусідніми країнами.

Наразі Україна має з'єднання з електромережами чотирьох країн-учасниць ЄС — Польщу, Словаччину, Угорщину та Румунію; через ці країни можна здійснювати експорт електроенергії з відновлюваних джерел до ЄС. На Рис. 7 показано сполучення систем електромереж України та сусідніх держав. Мапу взято з публікації Німецького інституту міжнародних справ і питань безпеки (Stiftung Wissenschaft und Politik, SWP)¹⁷.

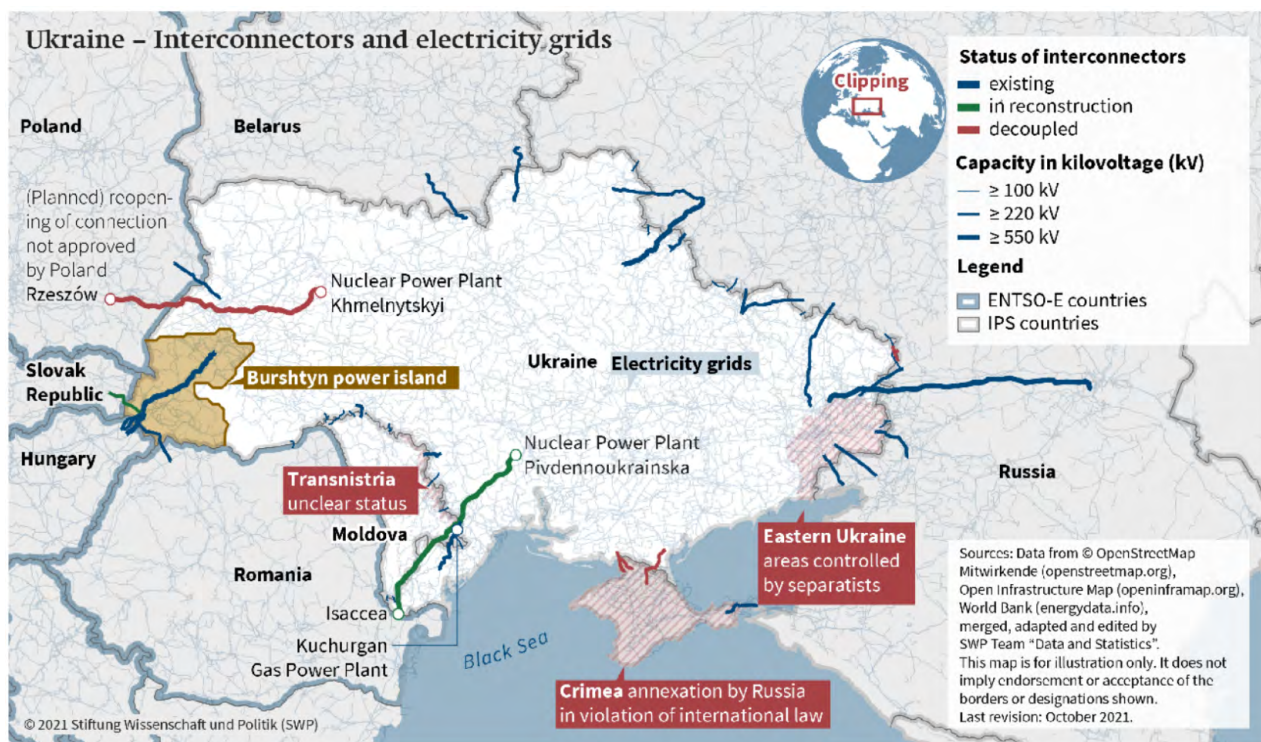


Рис 7: Україна: сполучення з електромережами сусідніх держав, Німецький інститут міжнародних справ і питань безпеки (Stiftung Wissenschaft und Politik, SWP), 2021 рік

¹⁷ Connecting Ukraine to Europe's Electricity Grid, Technical Details and Hard Geopolitics, Lukas Feldhaus, Kirsten Westphal, Georg Zachmann, SWP Comment 2021/C 57, 24.11.2021, 8 Seiten, doi:10.18449/2021C57

«Підключення України до енергосистеми континентальної Європи та ринку електроенергії ЄС є на політичному порядку денному. Однак встановлення необхідного підключення між мережами – технічно складний процес, що також вимагає докорінних змін в українському енергетичному секторі. Але не лише Україна має над чим попрацювати; ЄС та його державам-учасницям також доведеться приймати далекосяжні та надзвичайно важливі геополітичні рішення. Цей проєкт потребує політично скоординованого плану втілення, що визначатиме чіткі критерії та умови для спільної електромережі»¹⁸.

У «Спільній заяві Сполучених Штатів і Німеччини щодо підтримки України, європейської енергетичної безпеки та спільних кліматичних цілей», оприлюдненій 21 липня 2021 року Державним департаментом США, вказано, що енергозабезпечення Європи та її залежність від держав, що не є учасниками ЄС, становить значну проблему для майбутніх політичних обговорень. У Заяві зазначено:

«У випадку, якщо Росія спробує перетворити енергопостачання на зброю, або ж здійснюватиме подальші агресивні дії проти України, Німеччина вживатиме відповідних заходів на національному рівні, а також вимагатиме вжиття відповідних заходів на загальноєвропейському рівні, включно з запровадженням санкцій, спрямованих на обмеження експорту російських енергоносіїв, зокрема продукції газової та/або інших відповідних промисловостей».

Зелене відновлення: декарбонізація економіки, що спиратиметься на відновлювані джерела енергії та енергоефективність

У «Спільній заяві Сполучених Штатів і Німеччини» проєкти у сфері енергетичної інфраструктури, як-от сполучення з іншими мережами, а також проєкти, пов'язані з відновлюваними джерелами енергії та енергоефективністю, названо «наріжними каменями» майбутнього «зеленого відновлення». Нижче наводимо найважливіші витяги з цієї Заяви:

- *Сполучені Штати та Німеччина рішуче виконуватимуть взяті на себе зобов'язання з протидії змінам клімату та забезпечення успіху Паризької угоди шляхом скорочення власних викидів, відповідно до встановленої цілі досягнути вуглецевої нейтральності найпізніше до 2050 року, заохочуючи посилення кліматичних амбіцій інших найбільш розвинених країн, а також через співпрацю щодо розробки рішень та технологій для прискорення глобального переходу до чистих нульових викидів. (...)*
- *Це Партнерство сприятиме співпраці США та Німеччини у сферах розробки дієвих оперативних планів для досягнення своїх амбітних цілей щодо скорочення викидів; координації своєї внутрішньої політики та пріоритетів у галузевих ініціативах декарбонізації та багатосторонніх форумах; залучення інвестицій на здійснення енергетичного переходу; а також розробки, демонстрації та масштабуванню таких важливих енергетичних технологій, як виробництво та зберігання енергії з відновлюваних джерел, енергія водню, енергоефективність та електрична мобільність.*
- *У рамках американсько-німецького партнерства у кліматичній та енергетичній сферах ухвалено рішення створити опорний механізм підтримки здійснення енергетичного переходу країнами, що розвиваються. Зазначений механізм буде зосереджено на підтримці України та інших країн Центральної та Східної Європи. Ці зусилля сприятимуть не лише боротьбі зі зміною клімату, але й посиленню енергетичної безпеки Європи шляхом зменшення попиту на російські енергоносії.*
- *У рамках здійснення цих заходів Німеччина зобов'язується започаткувати Зелений Фонд для України та управляти ним, з метою надання підтримки здійснення Україною енергетичного переходу, а також досягнення нею енергоефективності та енергетичної безпеки.*
- *Німеччина та США докладатимуть зусиль до заохочення та підтримки інвестування (зокрема третіми сторонами на кшталт юридичних осіб приватного сектору) щонайменше 1 мільярда доларів США у Зелений Фонд для України.*
- *Німеччина зробить початковий внесок у цей Фонд у розмірі щонайменше 175 мільйонів доларів США і працюватиме над подовженням взятих на себе зобов'язань на наступні бюджетні роки. Фонд сприятиме використанню енергії з відновлюваних джерел, виробництву водню, підвищенню енергоефективності, прискоренню відходу від використання вугілля, та заохочуватиме вуглецеву нейтральність.*

¹⁸ SWP 2021, Connecting Ukraine to Europe's Electricity Grid, Technical Details and Hard Geopolitics, Lukas Feldhaus, Kirsten Westphal, Georg Zachmann, SWP Comment 2021/C 57, 24.11.2021, 8 Seiten, doi:10.18449/2021C57

- США підтримуватимуть ініціативу шляхом надання технічної допомоги та політичної підтримки відповідно до заявлених цілей Фонду, а також запровадження програм підтримки ринкової інтеграції, регуляторної реформи та розвитку відновлюваних джерел енергії в енергетичному секторі України.
- Крім того, Німеччина продовжить підтримку спільних енергетичних проєктів з Україною, зокрема у сфері відновлюваних джерел енергії та енергоефективності, а також підтримку відходу від використання вугілля, зокрема шляхом призначення спеціально уповноваженої особи, з цільовим фінансуванням у розмірі 70 мільйонів доларів США.
- Німеччина також готова ініціювати Пакет заходів щодо забезпечення стійкості України для підтримки енергетичної безпеки України. Цей пакет включатиме заходи щодо забезпечення та нарощування спроможностей реверсного газопостачання України з метою її повного захисту від можливих майбутніх спроб Росії скоротити постачання газу в цю державу.
- Сюди також входить технічна допомога з інтеграції України у європейські енергомережі, спираючись на роботу ЄС та Агентства США з міжнародного розвитку та координуючи її. Крім того, Німеччина сприятиме залученню України до участі у роботі свого Комплексу з нарощування потенціалу у кібернетичній сфері, підтримуватиме заходи з реформування енергетичного сектору України та допомагатиме у визначенні варіантів модернізації газотранспортних систем України.

На завершення розділу 2 Оцінки потенціалу відновлюваної енергетики від UTS зазначимо, що:

Величезний потенціал України у сферах сонячної та вітрової енергетики можна і потрібно використовувати для «зеленої відбудови» держави з прицілом на стійку безвуглецеву економіку та подальшу підтримку Україною держав-учасниць ЄС шляхом постачання їм енергії з відновлюваних джерел.

3. УКРАЇНА: ВИГОДИ ВІД ЕКСПОРТУ ЕНЕРГІЇ З ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ

Використання енергії з відновлюваних джерел має неабиякі переваги і для України, і для сусідніх держав-учасниць ЄС.

3.1 Виробництво електроенергії з відновлюваних джерел: економічні переваги

Відновлювані джерела енергії декарбонізують енергетичний сектор; енергія сонця та вітру не потребує палива, а відповідно, витрати на її видобуток не залежатимуть від коливань цін на викопне паливо на міжнародних ринках. Наразі виробництво електроенергії з відновлюваних джерел є найбільш економічно доцільним видом енергопостачання. У своїй щорічній основній публікації «Вартість виробництва енергії з відновлюваних джерел – 2022», Міжнародне агентство з відновлюваної енергетики (IRENA) стверджує, що конкурентоспроможність відновлюваних джерел енергії продовжувала зростати, попри зростання вартості матеріалів та обладнання у 2022 році¹⁹.

«Економічні переваги технологій сонячної та вітрової енергетики, на додачу до їх екологічних переваг, роблять їх неймовірно привабливими. Стрімке зростання цін на викопне паливо в період 2021–2022 років спричинило одне з найсуттєвіших покращень конкурентоспроможності відновлюваної енергетики за два останні десятиліття». Renewable Power Generation Costs in 2022 (23 серпня 2023 р).

Понад десять років вартість виробництва сонячної та вітрової енергії постійно знижувалася. У 2010 році виробництво сонячної фотоелектричної енергії було на 710% дорожче порівняно з енергією, видобутою з викопного палива – а вже у 2022 собівартість енергії сонця була на 29% меншою за отриману з викопних енергоносіїв. Собівартість енергії з наземних вітрових установок знизилася з «на 95% дорожчої» у 2010 році до «на 52% дешевшої за середню вартість енергії з вугілля та газу (див. Рис. 8).

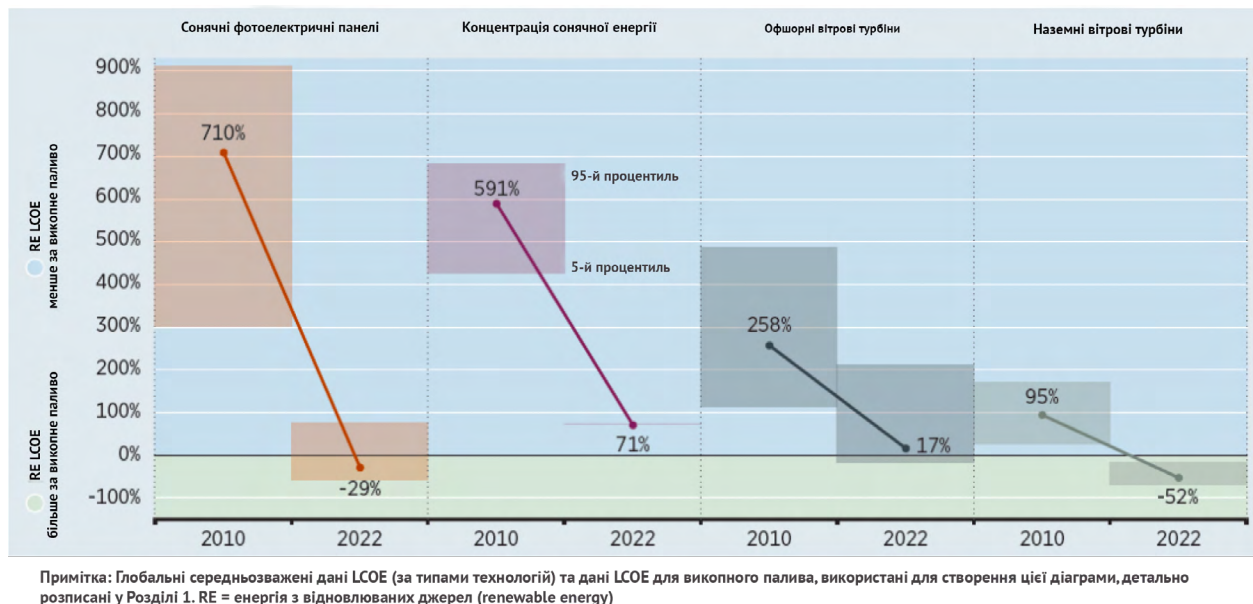
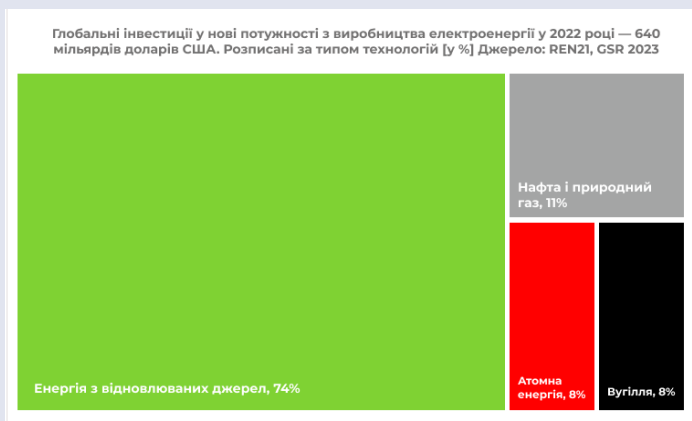


Рис. 8: Зміни в конкурентоспроможності сонячної та вітрової енергетики за країнами, виходячи з глобальних усереднених значень нормованої вартості енергії (LCOE), 2010–2022, IRENA 2023.

¹⁹IRENA 2023, RENA (2023), Renewable power generation costs in 2022, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi. ISBN 978-92-9260-544-5



Завдяки значним економічним перевагам виробництва електроенергії з відновлюваних джерел, у 2022 році 74% загальних інвестицій (640 мільярдів доларів США) в нові потужності з виробництва електроенергії було спрямовано на видобуток енергії з відновлюваних джерел²⁰.

Технології відновлюваної енергетики домінують на ринку нових інвестицій вже понад п'ять років поспіль.

Рис. 9: Глобальні інвестиції у нові енергетичні потужності (за типом), 2022, REN21, GSR 2023

3.2 Відновлювана енергетика: потенціал для створення робочих місць

І нарешті, виробництво енергії з відновлюваних джерел створює можливості для довгострокового працевлаштування. Згідно з даними Міжнародного агентства з відновлюваної енергетики (IRENA), у 2023 році галузь відновлюваної енергетики забезпечила робочими місцями 13,7 мільйона людей у всьому світі, що на 1 мільйон більше, ніж у 2022 році.

Близько 4,9 мільйона робочих місць було створено в фотоелектричній промисловості; друге місце посіла гідроенергетика (близько 2,5 мільйона робочих місць), а третє — вітрогенерація (1,4 мільйона робочих місць).

Оцінки приблизного потенціалу створення робочих місць було здійснено на основі дуже простого сценарію розвитку української сонячної та вітрової енергетики:

Ми виходили з припущення, що до 2030 року встановлення нових сонячних панелей і вітряних турбін дозволить сектору вийти на рівень виробництва енергії станом на 2021 рік, а потім, впродовж наступних 20 років, безперервно нарощувати виробництво відповідно до стабільного щорічного зростання ринку. Кількість сонячних та вітряних установок, що вводяться в експлуатацію щорічно, множимо на середньогалузеві коефіцієнти зайнятості (див. Таблицю 9).

Таблиця 9: Середньогалузеві коефіцієнти зайнятості для сонячної та вітрової енергетики (за даними UTS/ISF)

	Будівництво/встановлення	Виготовлення	Експлуатація та обслуговування
	Років роботи/МВт	Років роботи/ МВт	Робочих місць/МВт
Фотоелектричні	3,2	1,5	0,7
Вітрові наземні	3,0	3,4	0,3
Вітрові офшорні	6,5	13,6	0,15

У Таблиці 10 нижче наведено спрощену оцінку потенціалу зайнятості та передбачуваний розвиток ринку сонячної та вітрової енергії. Червоним позначено вхідні дані та приблизні оцінки. Ці розрахунки є суто орієнтовними і потребують більш детального опрацювання сценаріїв розвитку енерговидобування та енергетичної галузі загалом.

²⁰ REN21, 2023, RENEWABLES 2023, GLOBAL STATUS REPORT <https://www.ren21.net/gsr-2023/>

Таблиця 10: Зелене відновлення: сценарій розвитку вітрової та сонячної енергетики

					Проекція >>>									
Україна	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2035	2040	2050
Сукупна закладена потужність [МВт/рік]														
Сонячні батареї	6 075	6 381	6 381	6 381	6 681	7 026	7 440	7 947	8 622	9 532	10 762	20 452	36 275	102 798
Наземні вітрові установки	1 314	1 672	1 672	1 672	1 872	2 092	2 340	2 624	2 959	3 377	3 889	8 168	15 177	44 646
Річна закладена потужність [МВт/рік]														
Сонячні батареї	1 239	1 301	0	0	300	345	414	507	675	911	1 229	2 356	3 795	9 842
Наземні вітрові установки	358	456	0	0	200	220	248	285	334	418	512	1 044	1 681	4 360
Річні темпи зростання [%/рік]														
Сонячні батареї	25,6%	5,0%	0,0%	0,0%	10,0 %	15,0 %	20,0 %	22,5%	33,0%	35,0%	35,0%	10,0%	10,0%	10,0%
Наземні вітрові установки	12,3%	27,2%	0,0%	0,0%	10,0 %	10,0 %	12,5 %	15,0%	17,5%	25,0%	22,5%	10,0%	10,0%	10,0%
Частка досягнення потенціалу за «Сценарієм 2» [%]														
Сонячні батареї	0,12%	0,13%	0,13 %	0,13 %	0,13 %	0,14 %	0,15 %	0,16%	0,17%	0,19%	0,21%	0,40%	0,71%	2,02%
Наземні вітрові установки	0,14%	0,18%	0,18 %	0,18 %	0,20 %	0,22 %	0,25 %	0,28%	0,31%	0,36%	0,41%	0,86%	1,60%	4,70%
Потенціал працевлаштування, екстраполяція [робочі місця, рік]														
Сонячні батареї	10 076	10 583	4 467	4 467	6 087	6 540	7 154	7 947	9 205	10 952	13 311	25 390	43 227	118 216
Наземні вітрові установки	2 685	3 417	502	502	1 842	2 036	2 286	2 609	3 028	3 688	4 444	9 130	15 311	41 297
Робочі місця у сонячній та вітровій енергетиці – усього	12 761	14 000	4 968	4 968	7 928	8 575	9 440	10 555	12 233	14 641	17 755	34 520	58 538	159 513

4. ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

Miyake 2023, <https://mangomap.com/university-of-technology-sydney/maps/132307/solar-potential-area-in-g20?preview=true#> and <https://www.uts.edu.au/oecm/renewable-resource-mapping>

Teske et. al. 2023, Teske, S., Rispler, J., Niklas, S. et al. Net-zero 1.5 °C sectorial pathways for G20 countries: energy and emissions data to inform science-based decarbonization targets. SN Appl. Sci. 5, 252 (2023). <https://doi.org/10.1007/s42452-023-05481-x>

IRENA 2023B, IRENA and ILO (2023), Renewable energy and jobs: Annual review 2023, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi and International Labour Organization, Geneva, ISBN: 978-92-9260-552-0

Teske, S. et al. (2019). Methodology. In: Teske, S. (eds) Achieving the Paris Climate Agreement Goals. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-05843-2_3

Teske S (ed.) (2022) Achieving the Paris Climate Agreement Goals (part 2). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-99177-7_1

Copernicus Global Land Cover – 2019: <https://land.copernicus.eu/global/products/lc>

SRTM Digital Elevation Data Version 4: <https://srtm.csi.cgiar.org/>

World Database on Protected Areas: <https://www.protectedplanet.net/en/thematic-areas/wdpa?tab=WDPA>

Global Solar Atlas: <https://globalsolaratlas.info/map>

Global Wind Atlas: <https://globalwindatlas.info/en>

CSR in energy and agrarian sectors of Ukraine; Associate Prof. of Management and Marketing Department at Ukrainian National Forestry University (Lviv) Andrii Holovko,

Buchhorn et. al. 2020, Buchhorn, M. ; Lesiv, M. ; Tsendbazar, N. - E. ; Herold, M. ; Bertels, L. ; Smets, B. Copernicus Global Land Cover Layers-Collection 2. Remote Sensing 2020, 12Volume 108, 1044. doi:10.3390/rs12061044

Solar panels installed in remote Arctic community to power green energy transition Svalbard archipelago solar panel installation. By Rory Elliott Armstrong & Euronews Green with AFP Published on 19/09/2023, <https://www.euronews.com/green/2023/09/19/solar-panels-installed-in-remote-arctic-community-to-power-green-energy-transition>

Teske et. al. 2023, Teske, S., Rispler, J., Niklas, S. et al. Net-zero 1.5 °C sectorial pathways for G20 countries: energy and emissions data to inform science-based decarbonization targets. SN Appl. Sci. 5, 252 (2023). <https://doi.org/10.1007/s42452-023-05481-x>

Miyake 2023, <https://mangomap.com/university-of-technology-sydney/maps/132307/solar-potential-area-in-g20?preview=true#> and <https://www.uts.edu.au/oecm/renewable-resource-mapping>

Connecting Ukraine to Europe's Electricity Grid, Technical Details and Hard Geopolitics, Lukas Feldhaus, Kirsten Westphal, Georg Zachmann, SWP Comment 2021/C 57, 24.11.2021, 8 Seiten, doi:10.18449/2021C57

SWP 2021, Connecting Ukraine to Europe's Electricity Grid, Technical Details and Hard Geopolitics, Lukas Feldhaus, Kirsten Westphal, Georg Zachmann, SWP Comment 2021/C 57, 24.11.2021, 8 Seiten, doi:10.18449/2021C57

IRENA 2023, RENA (2023), Renewable power generation costs in 2022, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi. ISBN 978-92-9260-544-5

EN21, 2023, RENEWABLES 2023, GLOBAL STATUS REPORT <https://www.ren21.net/gsr-2023/>

IRENA 2023B, IRENA and ILO (2023), Renewable energy and jobs: Annual review 2023, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi and International Labour Organization, Geneva, ISBN: 978-92-9260-552-0,



Institute for Sustainable Futures

University of Technology Sydney

PO Box 123 Broadway, NSW, 2007

www.isf.uts.edu.au