



ЦІЛЬОВА КОМПЛЕКСНА ПРОГРАМА НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ НАН УКРАЇНИ

*Розвиток наукових засад отримання,
зберігання та використання водню в системах
автономного енергозабезпечення*

**Розроблення наукових засад щодо впровадження технологій
отримання водню з застосуванням відновлюваних джерел
енергії та перспектив подальшого використання для
енергетичних потреб в Україні**

**проект № 5-21
третій етап (заключний)**

**Науковий керівник: член-кор. НАН України Кудря С.О.
Відповідальні виконавці: д.т.н. Кузнєцов М.П., д.т.н. Морозов Ю.П.
Інститут відновлюваної енергетики НАН України**

Листопад 2021



Зміст досліджень

1 етап: Розроблення концепції розвитку та дорожньої карти впровадження водневих технологій в системах енергозабезпечення на базі ВДЕ

Аналіз потреб вітчизняної енергетики.

Шляхи і засоби виробництва водню для потреб енергетики.

Можливості використання відновлюваної енергетики (вітрової та сонячної).

Балансування та енергетична ефективність систем з використанням водню як енергоносія.

Методи транспортування та зберігання водню в локальних енергосистемах.

2 етап: Розроблення шляхів і етапів впровадження водневих технологій в енергетичних системах різного рівня, на транспорті, в промисловості та комунальному господарстві

Існуюча практика та перспективи використання «зеленого» водню.

Особливості використання водню в газотранспортних мережах.

Можливості використання промислової інфраструктури.

Перспективи та очікувані етапи впровадження водневих технологій

3 етап: Розроблення наукових засад впровадження технологій отримання водню з застосуванням відновлюваних джерел енергії та перспектив використання для енергетичних потреб в Україні

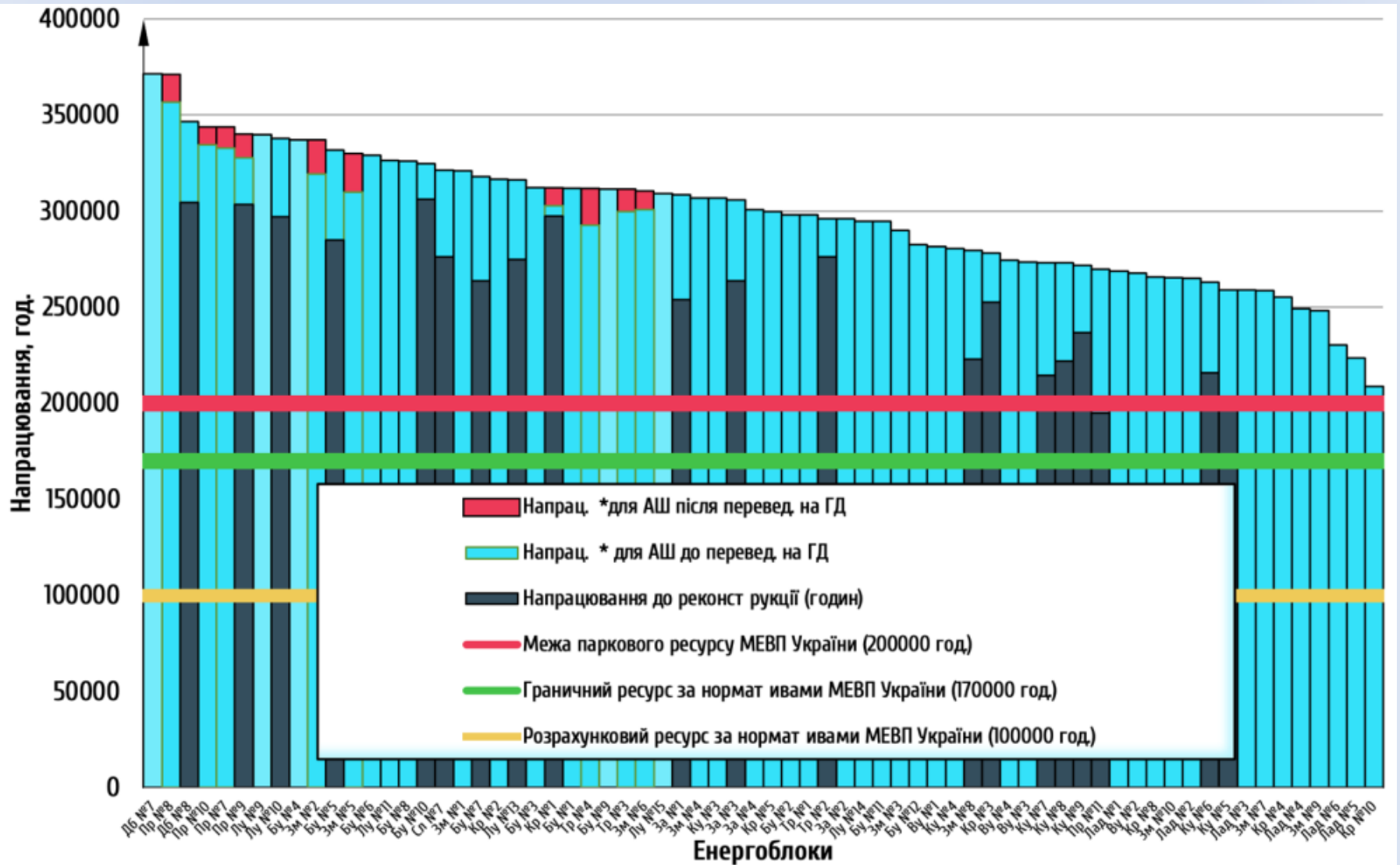
Аналіз очікуваних результатів впровадження водневих технологій.

Можливості масштабного впровадження водневих технологій.

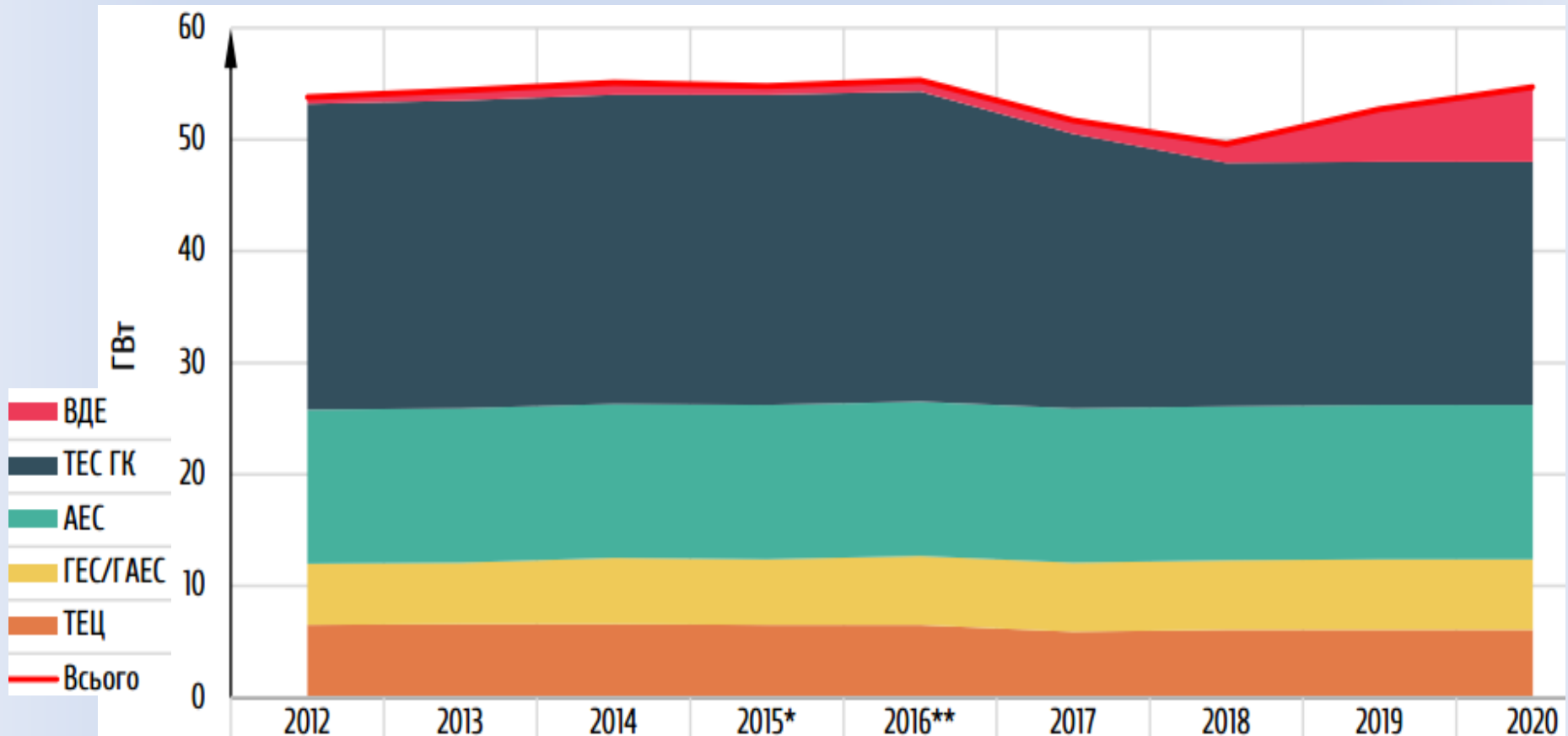
Техніко-економічні фактори використання «зеленого» водню.

Напрацювання енергоблоків ТЕС України

(станом на 31.12.2020 р.)

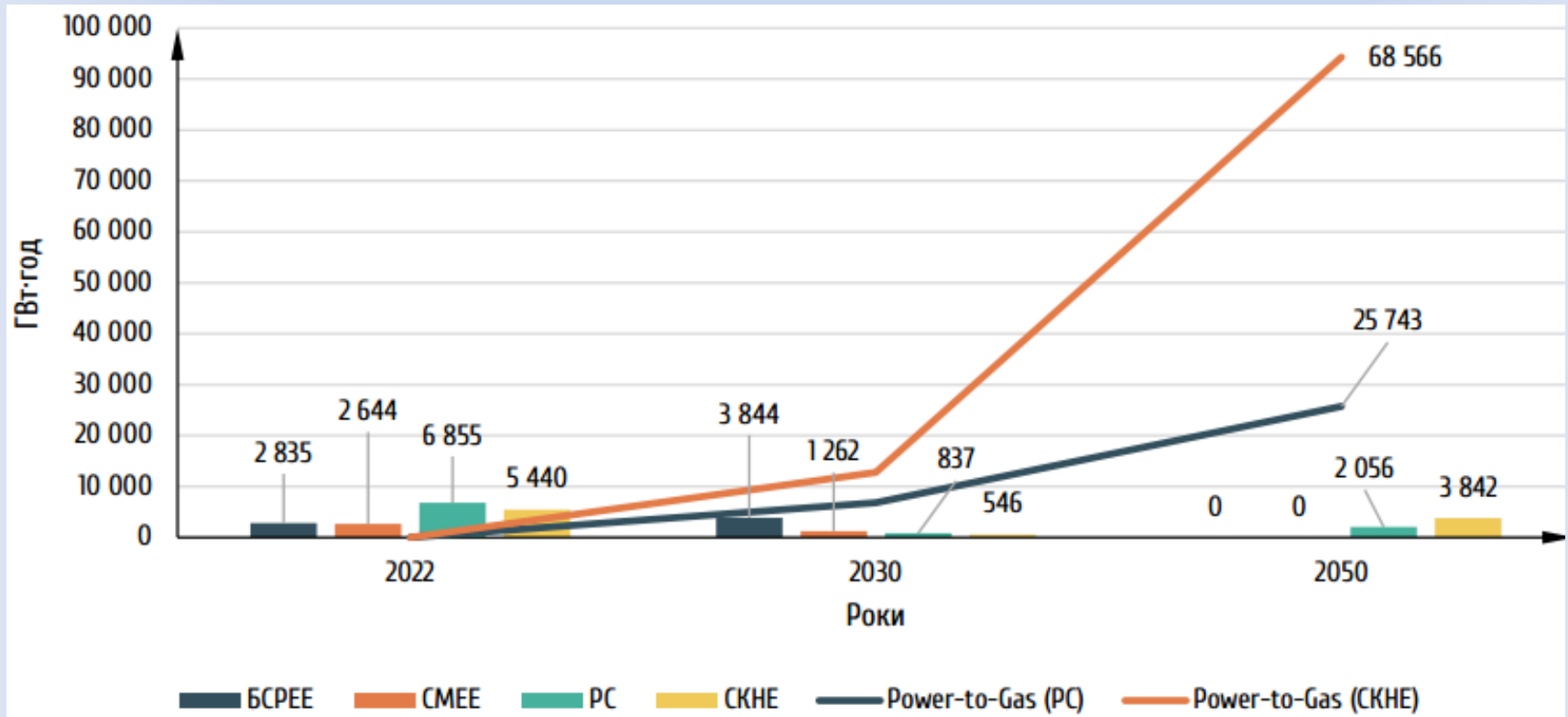


Динаміка структури встановленої потужності електричних станцій



Зростання частки відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) є тенденцією, яка обумовлена технічними, економічними, екологічними та політичними (залежність від імпорту палива) обставинами.

Обмеження виробництва на ВЕС та СЕС та використання профіцитів електричної енергії за сценаріями (НЕК «Укренерго»)

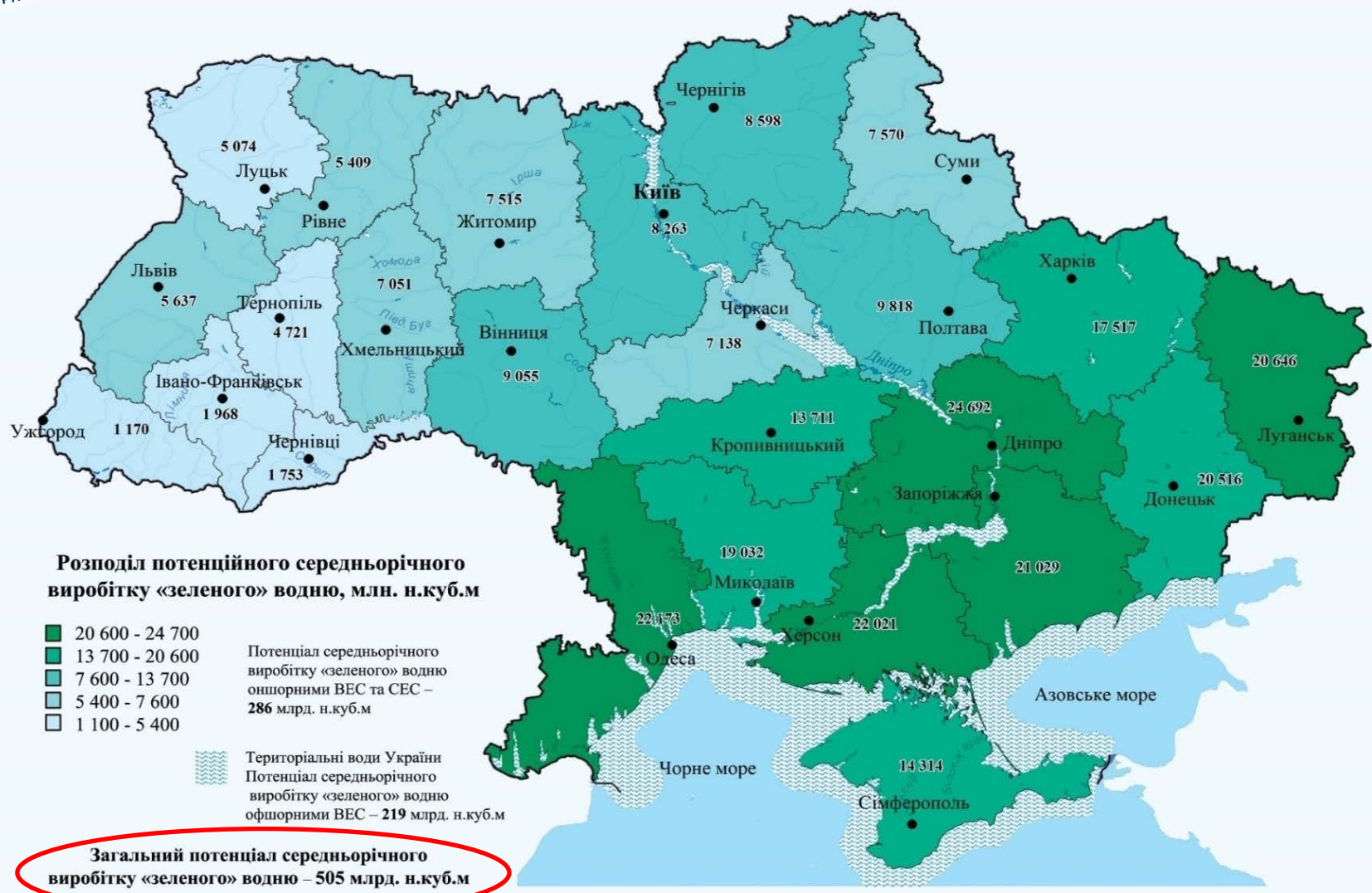


Єдиною можливістю ліквідації профіцитів енергії є або обмеження потужності ВДЕ, або впровадження технологій типу «*Power to X*». Тому більша частина цього «надлишку» в цих сценаріях використовується для виробництва «зеленого» водню, який зокрема використовується для виробництва електричної енергії.

Потенціал ВДЕ України



РОЗПОДІЛ ПОТЕНЦІЙНОГО СЕРЕДНЬОРІЧНОГО ВИРОБІТКУ «ЗЕЛЕНОГО» ВОДНЮ



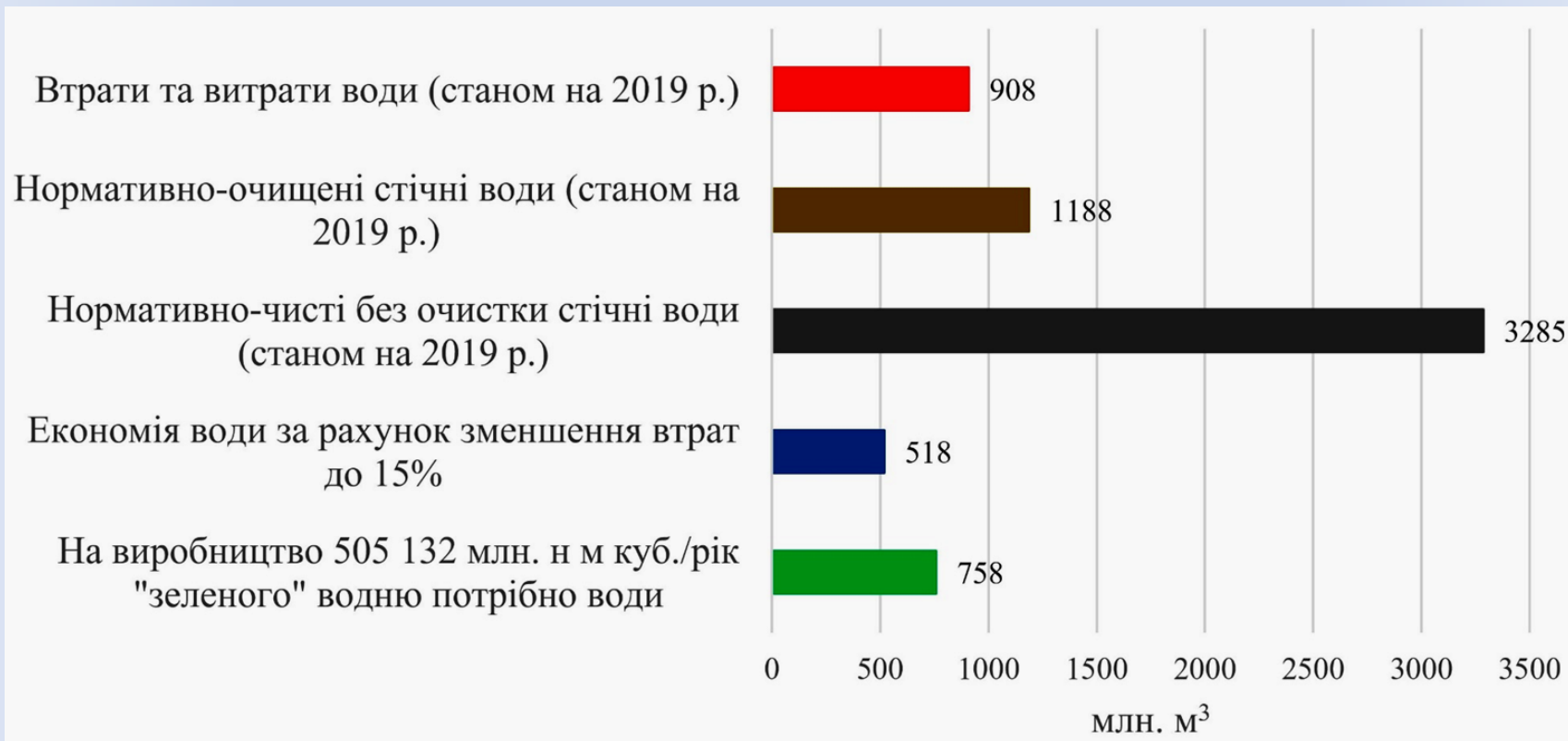
Використання води 2019 р. та необхідні потреби води для виробництва "зеленого" водню



За Енергетичною стратегією, реальні можливості ВДЕ для отримання водню спричинять потребу у воді на рівні 1% від зазначеного потенціалу



Можливі джерела води для виробництва «зеленого» водню



Вказано повний потенціал «зеленого» водню.



ПРОГНОЗОВАНІ МОЖЛИВОСТІ ВИРОБІТКУ «ЗЕЛЕНОГО» ВОДНЮ В УКРАЇНІ

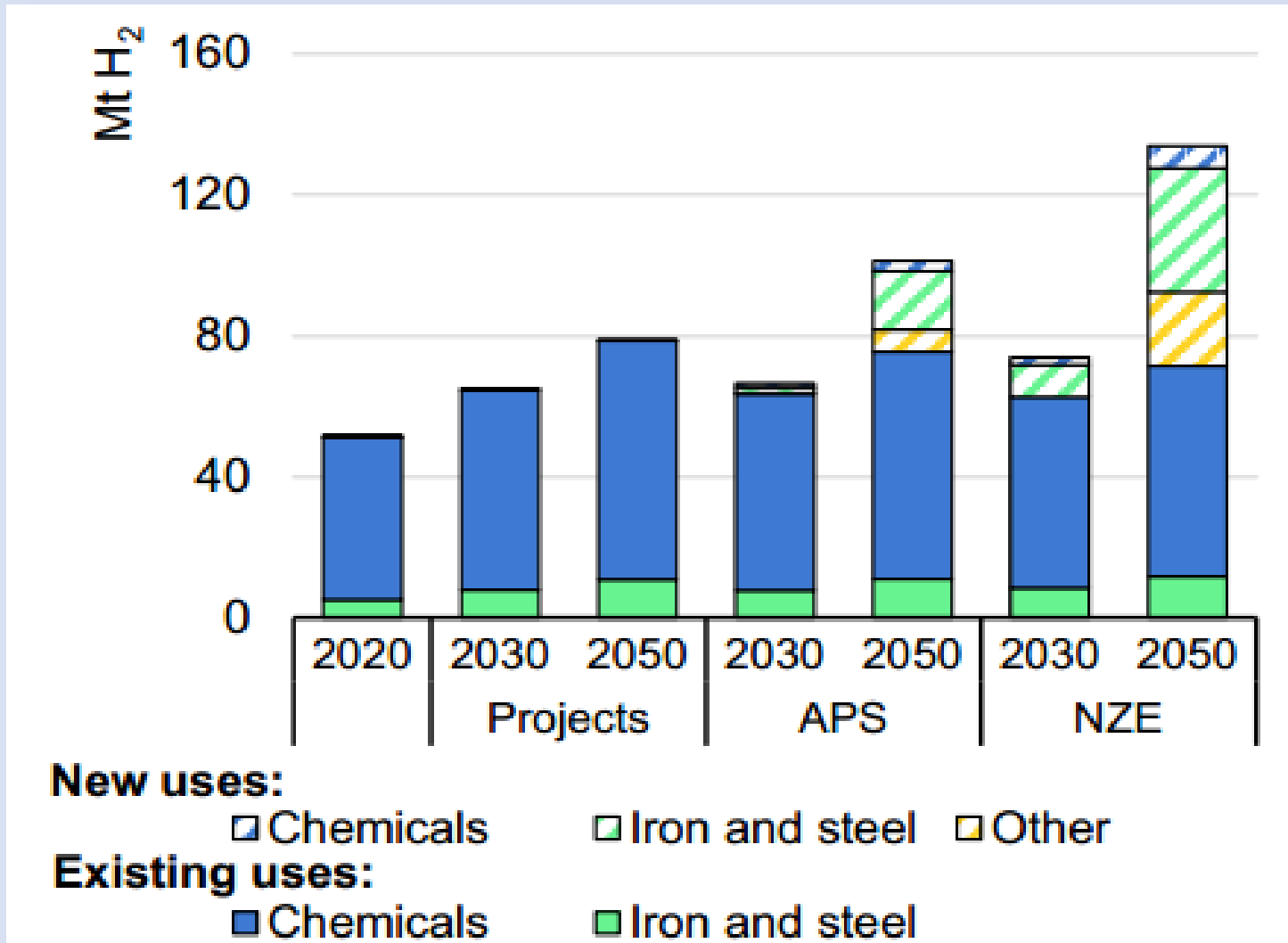
Роки	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Робота ОЕС України, млрд. кВт-год (ТВт-год)									
Споживання*	156	157	158	159	160	162	164	166	168
Генерація ВЕС	11,0	12,3	13,6	15,1	16,7	18,6	20,5	22,7	25,2
Генерація СЕС	9,6	10,2	10,8	11,5	12,2	13,0	13,8	14,5	15,5
в т.ч. на водень	3,0	3,7	4,5	5,4	6,4	7,5	8,8	10,3	12,0
Додаткові ВДЕ в рамках Ініціативи «зеленого» водню (ТВт-год)									
Генерація ВЕС	-	-	0,2	2,3	5,5	9,9	16,1	24,4	35,5
Генерація СЕС	-	-	0,1	1,4	3,3	6,1	9,8	14,9	21,5
Всього на отримання водню (ТВт-год)									
Генерація ВДЕ	3,0	3,7	4,8	9,1	15,2	23,5	34,7	49,6	69,0
Виробництво «зеленого» водню**									
Всього, млрд. м ³	0,6	0,7	1,0	1,8	3,0	4,7	6,9	9,9	13,8
т.ж., млн.т	0,05	0,07	0,09	0,17	0,28	0,43	0,63	0,90	1,25
експорт, млрд. м ³	-	-	-	0,6	1,4	2,5	4,1	6,3	9,1
Використання води, *** млн. м ³	0,9	1,05	1,5	2,7	4,5	7,05	10,35	14,85	20,7

* Цільовий сценарій ПрАТ НЕК «Укренерго»

** Наближено 5 кВт-год/м³H₂

*** З розрахунку 1,5 л води на 1 м³ H₂

Загальний попит на водень за сценаріями



Нове застосування: хімія, чорна металургія, інше;
 Існуюче використання: хімія, чорна металургія.

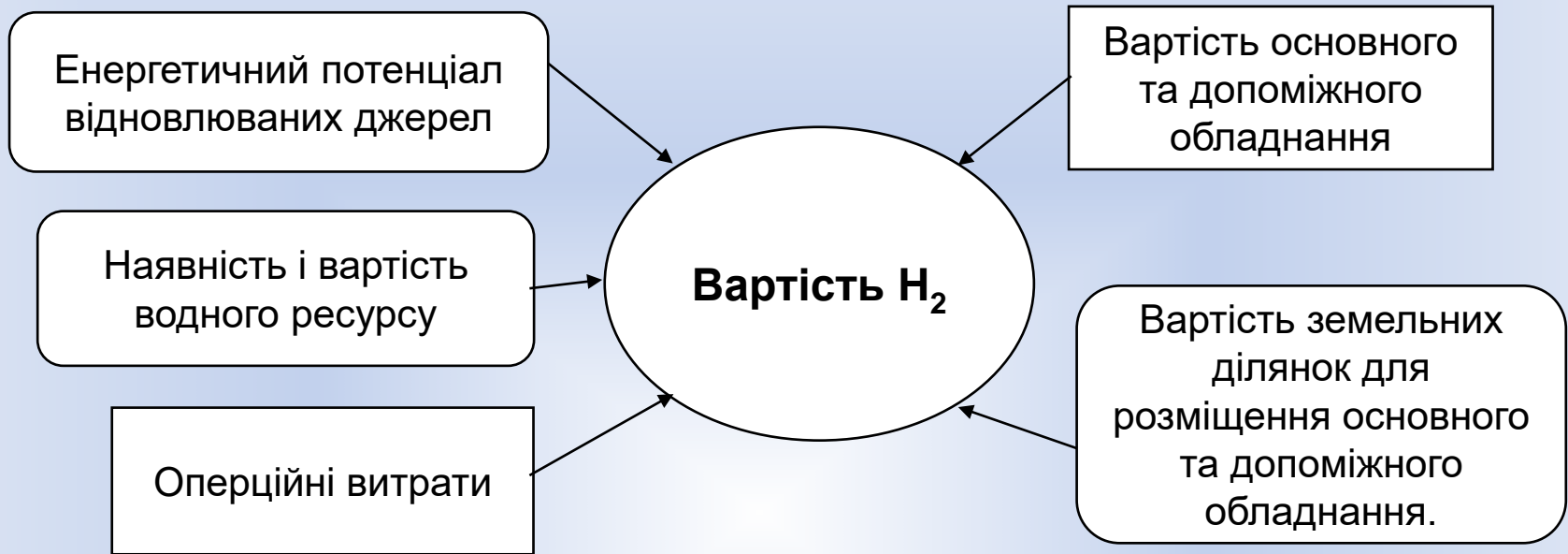
APS (Announced pledges scenario) - базовий
 NZE (Net zero emission scenario) – сценарій
 нульових викидів

Газові мережі та сховища компанії «Укртрансгаз»



№ п/п	ПСГ	Проектні показники ємності сховища млн куб. м		Фонд експлуатаційних свердловин од. проект факт	
		загальний об'єм	активний об'єм	проект	факт
1	Угерське	3 850	1 900	88	88
2	Більче-Волицьке	33 450	17 050	341	341
3	Опарське	4 570	1 920	76	76
4	Дашавське	5 265	2 150	100	100
5	Богородчанське	3 420	2 300	156	156
6	Олишівське	660	310	40	40
7	Червонопартизанське	2 973,8	1 500	67	67
8	Солохівське	2 100	1 300	81	81
9	Кегичівське	1 300	700	53	53
10	Пролетарське	2 980,3	1 000	99	251
11	Краснопопівське	800	420	40	40

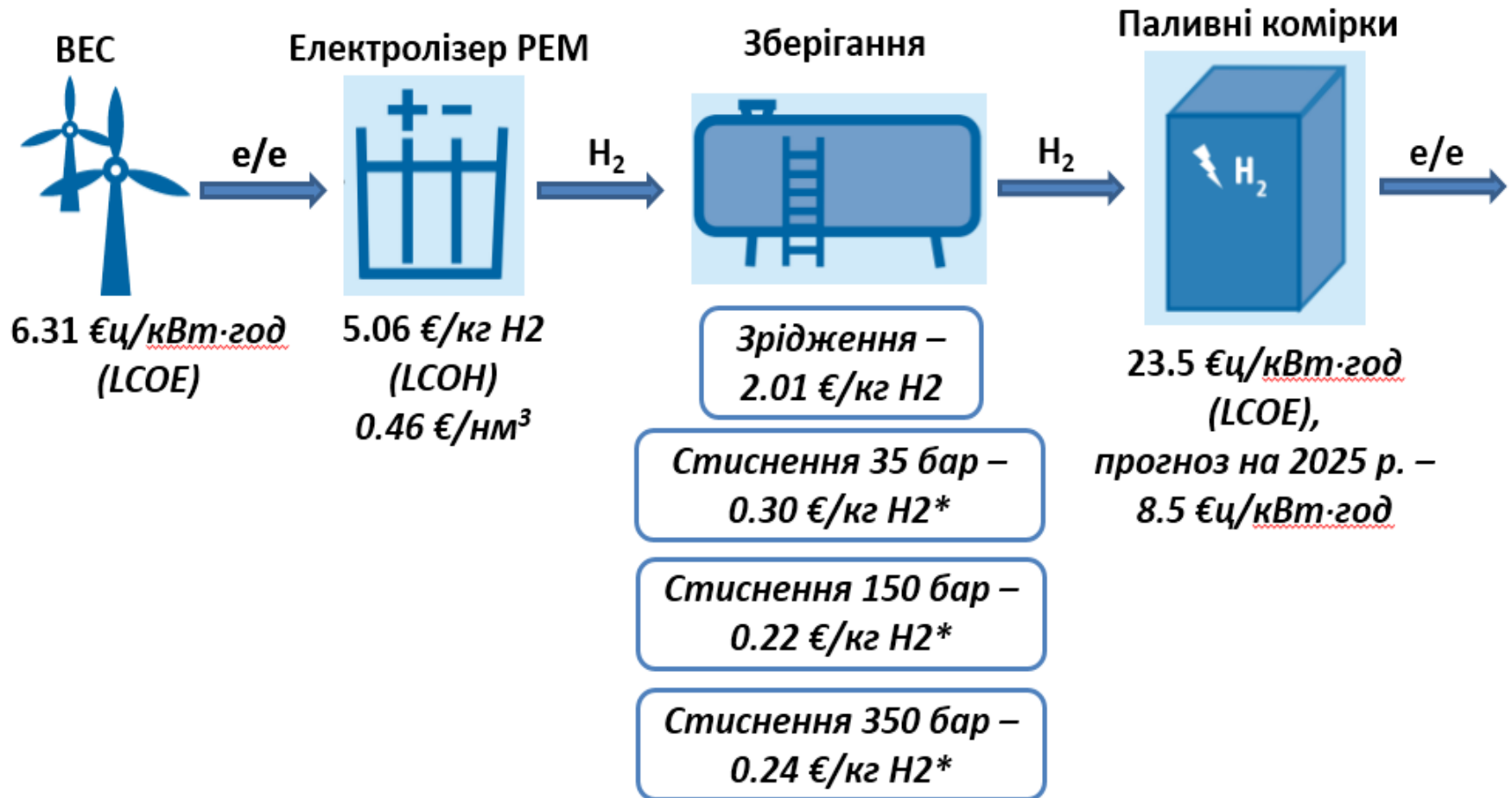
Фактори, які впливають на вартість «зеленого» водню



Прогнозні показники виробництва «зеленого» водню

Роки	Капітальні затрати, євро/кВт	Операційні затрати/рік	Ефективність системи	Електрика (4-5 тис. год), євро/МВт·год	Вартість водню, євро/кг
2020-2025	300-600	1,5 %	75-80 %	25-50	1,5 – 3,0
2025-2030	250-500	1 %	80-82 %	15-30	1,0 – 2,0
До 2050	< 200	< 1%	> 82 %	10-30	0,7 – 1,5

Приклад структури витрат при акумулюванні енергії за допомогою «зеленого» водню

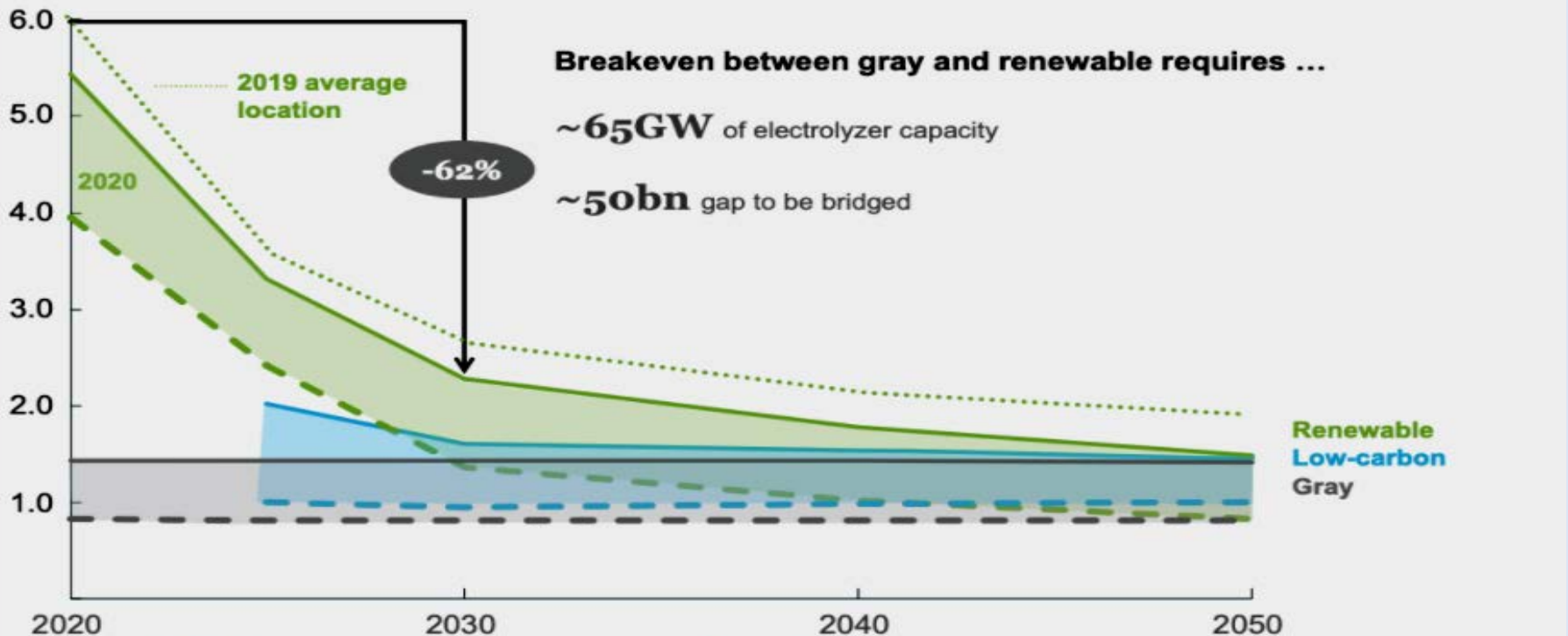


* Вартість стиснення для виробництва 210 т H₂ на добу



Прогноз вартості зеленого водню

Production cost of hydrogen USD/kg



Renewable hydrogen

- Dedicated renewable/electrolyzer system
- Fully flexible production
- Scale up of renewable hydrogen production
- Additional costs to reach end supply price

Low-carbon hydrogen

- Development of CO₂ pipelines and at-scale sites
- Scale-up of low-carbon hydrogen production
- Scale-up of CCS outside of hydrogen production

Key assumptions

- Gas price 2.6–6.8 USD/Mmbtu
- LCOE USD/MWh 25–73 (2020), 13–37 (2030) and 7–25 (2050)

Джерело: Воднева рада (Hydrogen Council)

ВИСНОВКИ

В Україні стан енергетики характеризується зношеністю інфраструктури та дефіцитом регулюючих потужностей. Водень збільшує рівень гнучкості енергосистеми при одночасному сприянні інтеграції відновлюваних джерел енергії.

В Україні є значний потенціал використання водню в енергетиці, на транспорті, в промисловості – газовій, хімічній, чорній металургії.

Прогнозований до 2030 року розвиток відновлюваної енергетики дозволяє реалізувати 2-3% наявного потенціалу виробництва водню, навіть з урахуванням проектів експорту.

Наявні водні ресурси України є цілком достатніми для реалізації досяжного потенціалу виробництва «зеленого» водню без збільшення водозабору.

Вартість водню залежить від технології його отримання, а при використанні ВДЕ – від природного потенціалу. Вартість «зеленого» водню має стійку тенденцію до зниження.

Побудова водневої стратегії в Україні потребує врахування існуючих технологій, потреб в енергетичному та сировинному ресурсах, ефективності, заходів з економії ресурсів та екологічної безпеки, потенціалу для отримання «зеленого» водню, можливості власного споживання та експорту, можливостей вітчизняної газової інфраструктури, нормативної і законодавчої бази.

Стратегія впровадження водню передбачає три основних етапи: 2021-2025 рр., 2025-2030 рр. та після 2030 року. Змістом етапів буде: створення ринку «зеленого» водню; збільшення масштабів та вдосконалення технологій; включення до глобального ринку.

Для додаткової інформації:

email: renewable@ukr.net , web: www.ive.org.ua , тел./факс: +38 (044) 206-28-09

Публікації за тематикою НДР

2021 р.

1. Kudria S., Ivanchenko I., Tuchynskiy B., Petrenko K., Karmazin O., Riepin O. Resource potential for wind-hydrogen power in Ukraine. International Journal of Hydrogen Energy, 2021, № 46 (1). – P.157-168. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.09.211>
2. Петренко К.В., Іванченко І.В., Кармазін О.О. Аналіз водних ресурсів України в контексті можливості їх використання для виробництва «зеленого» водню / «Відновлювана енергетика», – 2021. № 2 (65). – с. 19-28.
3. Кудря С.О., Яценко Л.В., Шинкаренко Л.Я., Ткаленко М.А. Опріснення морської води для отримання зеленого водню / «Відновлювана енергетика», – 2021. № 4 (67). – с. 3-15.
4. Ю.Ташеєв. Виділення факторів, що впливають на вартість «зеленого» водню // Економіст, 2021, №9, с.112-113.
5. Кудря С.О., Іванченко І.В., Петренко К.В., Кармазін О.О., Антон А.О., Рєпкін О.О. Вартість виробництва водню за допомогою електролізу. Матеріали XXII Міжнар.науково-практ. конференції «Відновлювана енергетика та енергоефективність». Київ. 2021 р. – с. 329–334.
6. Біла Книга 2021. Офшорна вітроенергетика та “зелений” водень: відкриття нових меж енергетичної потужності України. – 16 с. [Електронний ресурс]: https://www.ive.org.ua/wp-content/uploads/2_5438583199909284286.pdf.

2020 р.

1. Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних джерел енергії України. За ред. С.О. Кудрі. Київ. Інститут відновлюваної енергетики НАН України. 2020. – 82 с. <https://www.ive.org.ua/wp-content/uploads/atlas.pdf>. (Розділ 1.8.).
2. Відновлювані джерела енергії / За ред. С.О. Кудрі. – Київ: Інститут відновлюваної енергетики НАНУ, 2020. – 392 с. (Розділ 8. Воднева енергетика)
3. S.Kudria, I.Ivanchenko, B.Tuchynskiy, K.Petrenko, O.Karmazin, O.Riepin. Resource potential for wind-hydrogen power in Ukraine / International Journal of Hydrogen Energy, 2020. Retrieved from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360319920336818>.

Публікації (продовження)

4. Ташеев Ю.В., Войтко С.В., Трофименко О.О., Рєпкін О.О., Кудря Т.С. Глобальні тенденції розвитку водневих технологій у промисловості / Бізнес Інформ, 2020, №8. – С. 103-114. Режим доступу: <https://doi.org/10.32983/2222-4459-2020-8-103-114>.
5. Мухуб Бенменні. Від горизонту до горизонту: сучасні тренди та актуальні питання у галузі відновлюваної енергетики / Матеріали XXI міжнар. науково-практ. конф. «Відновлювана енергетика та енергоефективність у XXI столітті» – Київ, 2020. – С.51-55.
6. Кудря С.О., Рєпкін О.О., Ткаленко М.А., Яценко Л.В., Шинкаренко Л.Я. Вітроводневі технології / Матеріали міжнар. науково-практ. конф. «Відновлювана енергетика та енергоефективність у XXI столітті». – Київ, 2020. – С.176-183.
7. Хілько В.А. Впровадження водневої технології у використанні відновлюваних джерел енергії в Україні / Матеріали XXI міжнар. науково-практ. конф. «Відновлювана енергетика та енергоефективність у XXI столітті». – Київ, 14-15 травня 2020. – С.184-187.
8. Ташеев Ю.В. Зелений водень як основа декарбонізації енергетичних систем // Матеріали 9 міжнар. науково-практ. конф. «Економіка підприємства: сучасні проблеми теорії та практики», м.Одеса, 2020, с. 93-94.

2019 р.

1. Будько В.І., Кудря С.О., Будько М.О., Іванчук В.Ю. Використання вітроелектричних установок для виробництва водню в складі автономних заправних станцій електромобілів на паливних елементах // Відновлювана енергетика. — 2019. — № 2 (57). — С. 40-46.
2. Кудря С.А., Морозов Ю.П., Кузнецов Н.П. Эффективность использования возобновляемых источников энергии для получения водорода / XVI Междунар. конф. «Водородное материаловедение и химия углеродных наноматериалов (ICHMS '2019)», Киев, 23-30.09.2019 г.
3. Кузнецов М.П., Лисенко О.В., Мельник О.А. Задачі оптимізації комбінованих енергосистем за економічними критеріями // Відновлювана енергетика – 2019, №4. – С.6-14.
4. Кудря С.О., Рєпкін О.О., Яценко Л.В., Шинкаренко Л.Я., Ткаленко М.А. Концепція дорожньої карти розвитку водневої енергетики України на період до 2035 року // Відновлювана енергетика – 2019, №4. – С.22-28.