EU4USOCIETY

ПРОЄКТ СПРИЯННЯ ПЕРЕХОДУ УКРАЇНИ ДО «ЗЕЛЕНОЇ» ЕНЕРГЕТИКИ

МІЖНАРОДНИЙ ФОНД ВІДРОДЖЕННЯ

ПРЯМУЄМО РАЗОМ

Зміни клімату та енергетика. Європейський зелений курс та його переваги для України

Онлайн семінар 29 квітня 2021 р. в рамках проєкту

«Сприяння переходу України до «зеленої» енергетики»

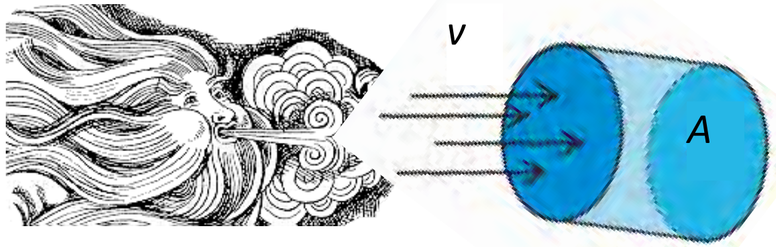
Стан розвитку вітрової енергетики в світі та Європейському Союзі

Володимир Крамар,

старший науковий співробітник Інституту технічної теплофізики НАН України

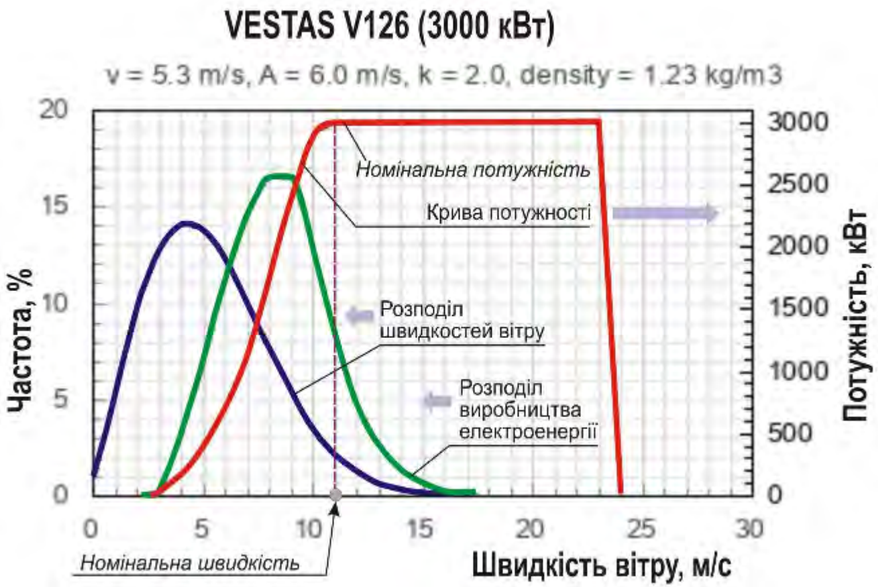
Теоретичні основи роботи ВЕС

Енергія вітрового потоку:



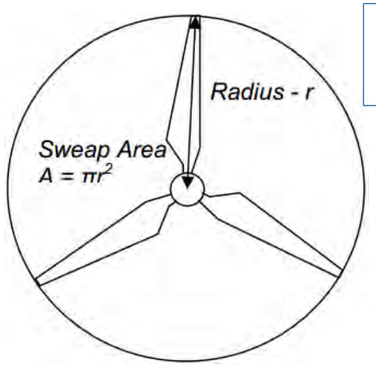
$$P_{\text{теор}} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3$$

P – потужність потоку повітря, Вт
ρ - густина повітря, кг/м³;
A- площа перерізу, м²;
v – швидкість вітру, м/с



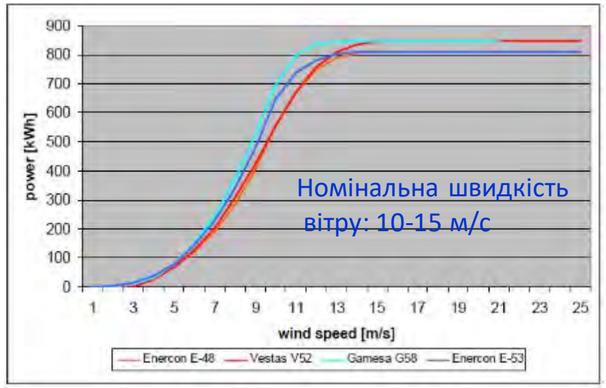
Щільність вітрової енергії (Wind Power Density, WPD)

$$WPD = \frac{P_{\text{теор}}}{A} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^3$$



$$\boldsymbol{P_{\text{роб}} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \cdot C_p \cdot \eta_{\text{е/м}}}$$

v- номінальна швидкість вітру, м/с;
Cp – аеродинамічний коефіцієнт;
Cp_max = 0,59;
Cp= 0,35-0,45 для сучасних турбін;
ηе/м- електромеханічний ККД (90-97%)



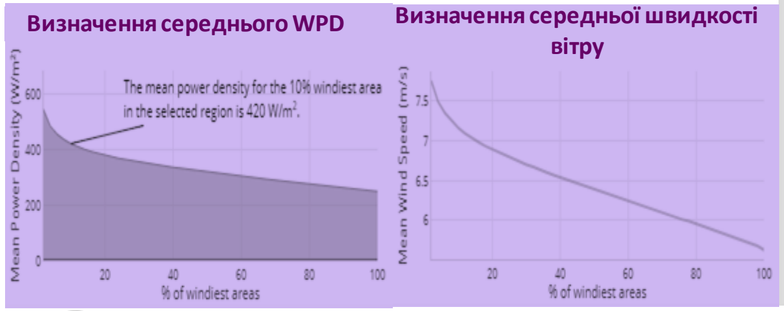
Класифікація потенціалу вітрової енергії за параметром WPD (NREL, USA)

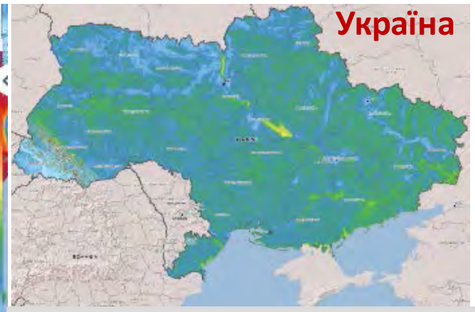
Клас:	Потенціал вітрової енергії:	WPD, Вт/м²	Швидкість вітру, м/с
1	Дуже низький	0–200	0.0–5.9
2	Низький	200–300	5.9–6.7
3	Достатній	300–400	6.7–7.4
4	Хороший	500–600	7.4–7.9
5	Дуже хороший	500–600	7.9–8.4
6	Надзвичайний	600–800	8.4–9.3
7	Максимальний	>800	>9.3

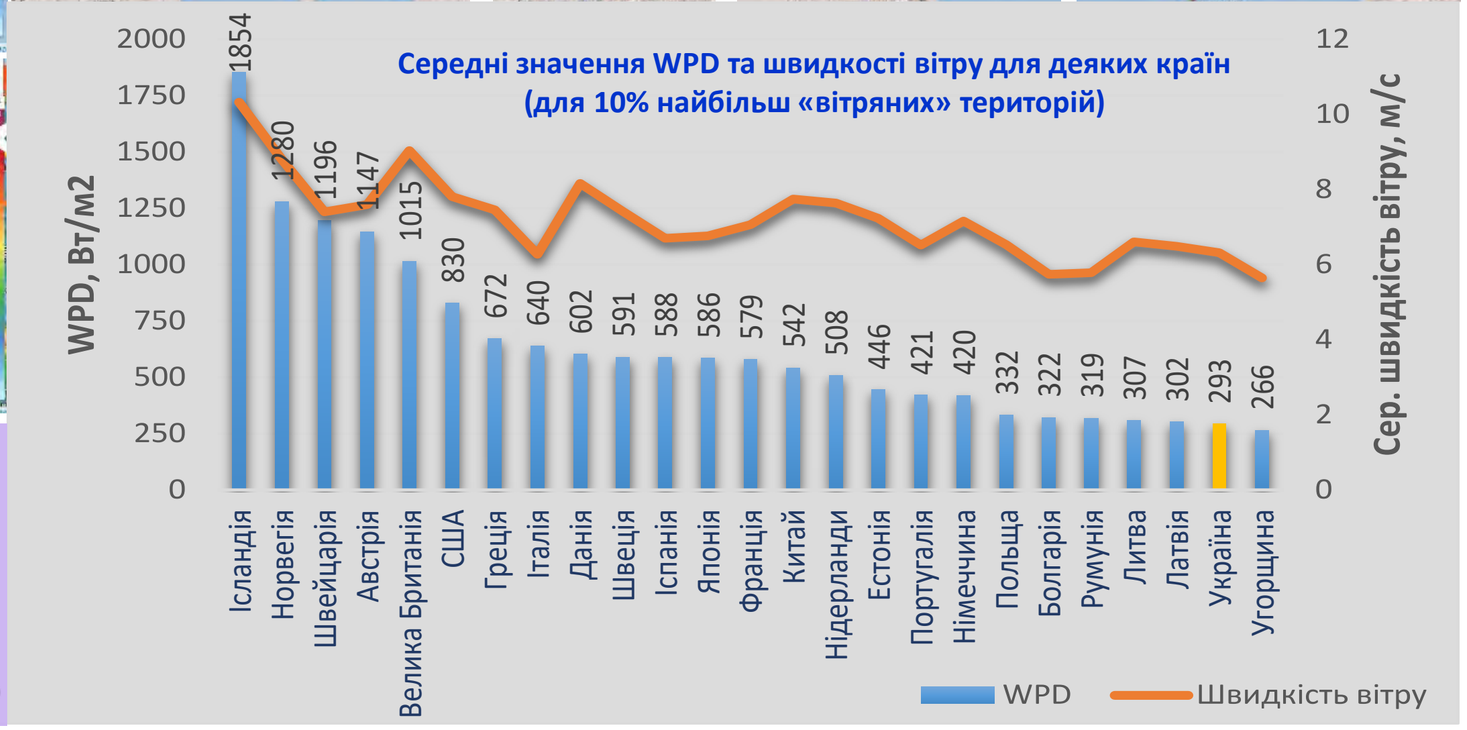
http://www.nrel.gov/gis/data/GIS_Data_Technology_Specific/United_States/Wind/50m/Colorado_Wind_50m.zip
https://www.raeng.org.uk/publications/other/23-wind-turbine
Trevor Letcher. Wind Energy Engineering: A Handbook for Onshore and Offshore Wind Turbines
https://wind-data.ch/tools/powercalc.php

Потенціал вітрової енергії (WPD, швидкість вітру)

Євразія, Північна Африка (WPD, 50 м)



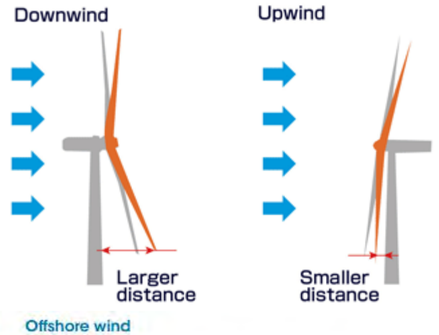


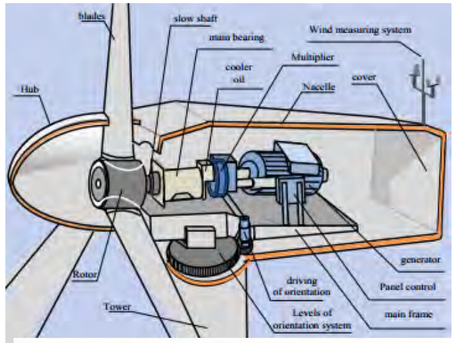


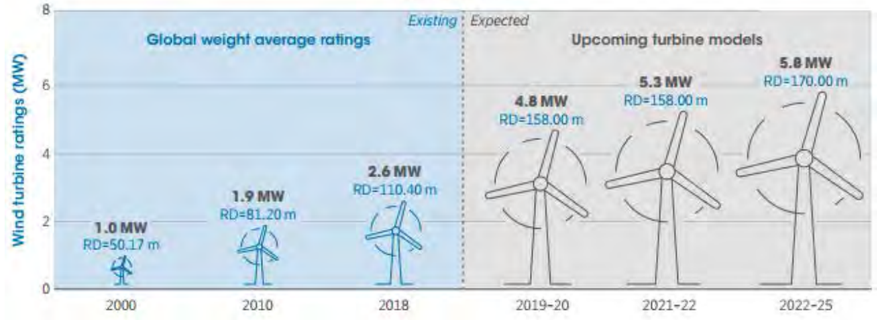
https://globalwindatlas.info/

Технологічні особливості ВЕС

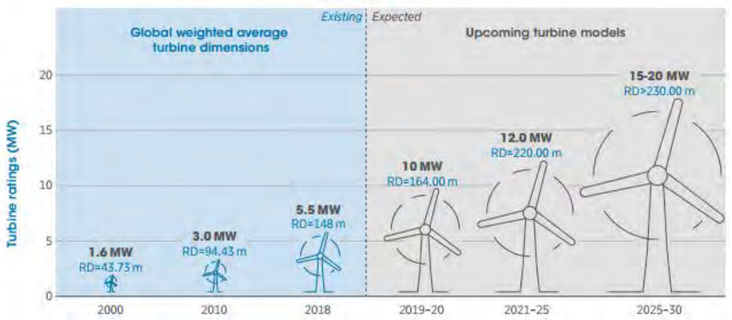
Onshore wind

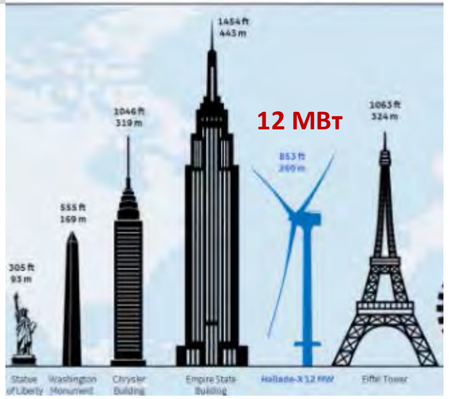


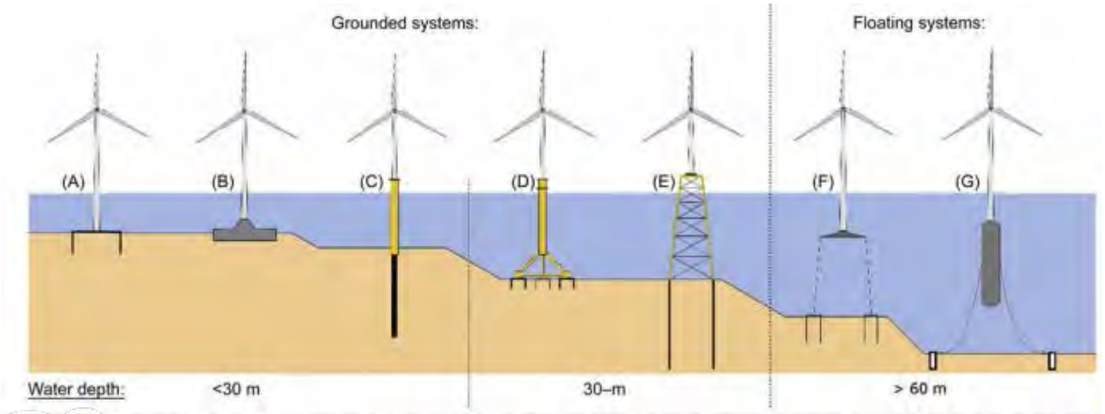




Offshore wind







(A) Bucket/suction caisson; (B) gravity based; (C) monopile; (D) tripod on bucket/suction caisson; (E) jacket/lattice structure; (F) tension le
G) spar buoy floating concept.

Основні тенденції розвитку сучасних вітрових турбін:

- *Збільшення одиничної потужності (в перспективі- до 20 МВт);*
- *Дизайн: горизонтальна вісь, три лопаті, орієнтація лопатей проти вітру, pitch-регулювання (поворотом уздовж осі лопатей), змінна швидкість обертання ротора;*
- *Офшорні ВЕС: глибина води до 60 м, відстань від берега- до 120 км, розробка плавучих ВЕС.*

За даними: https://www.irena.org/
https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805423-9.00009-0

https://energypedia.info/images/3/38/Wind_Power_FactBook.pdf

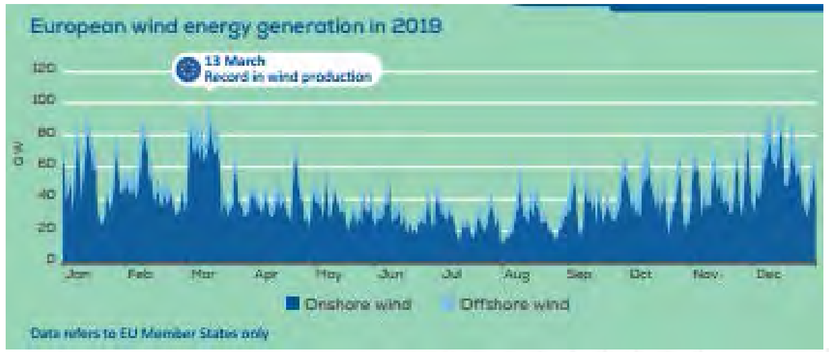
МІЖНАРОДНИЙ ФОНД ВІДРОДЖЕННЯ

ПРЯМУЄМО РАЗОМ

Переваги та недоліки технології

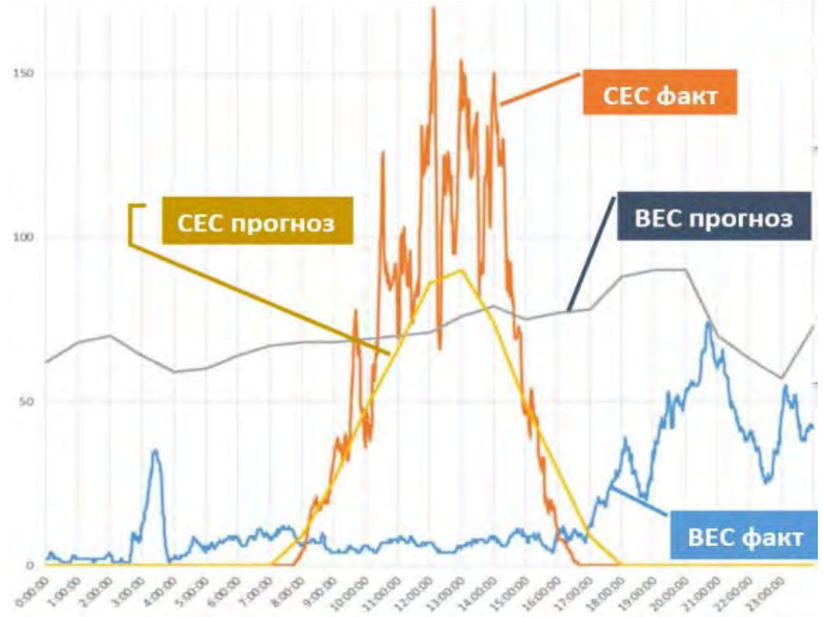
ПЕРЕВАГИ:

- *Використовує місцеве відновлюване джерело енергії;*
- *Не потребує палива;*
- *Одинична потужність може масштабуватись від кількох сотень Вт до 12-15 МВт, що дає можливість для різного застосування;*
- *Досить швидке здешевлення технології: з 2009 року майже на 65%, а з 1980-х років – на 80%;*
- *Має суттєвий потенціал подальшого зростання;*
- *Досить економне використання площі територій;*

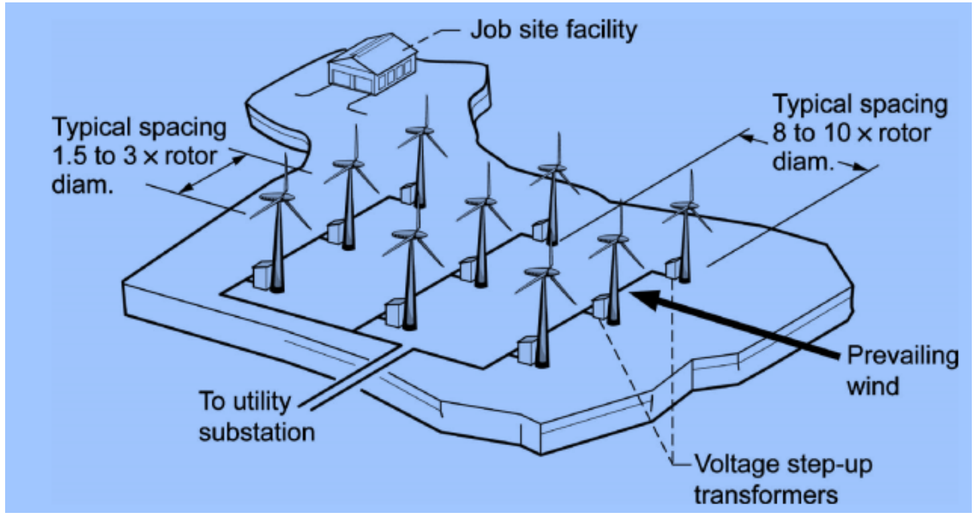


НЕДОЛІКИ:

- *Непостійна генерація, залежність від погодних умов (необхідність балансуючих потужностей);*
- *Неможливість точного прогнозування виробництва електроенергії;*
- *Необхідність брати до уваги можливий вплив на тваринний світ;*
- *Шумовий вплив та необхідність уникнення його дії на здоров'я людей;*
- *Інколи неоднозначне ставлення місцевого населення.*

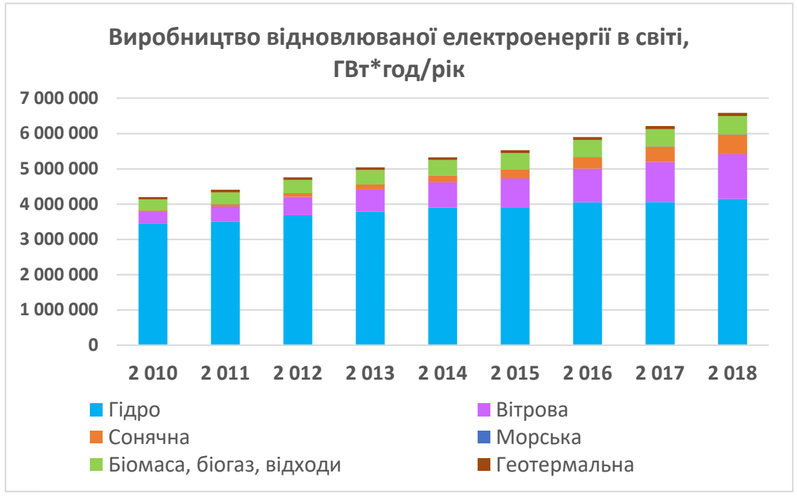


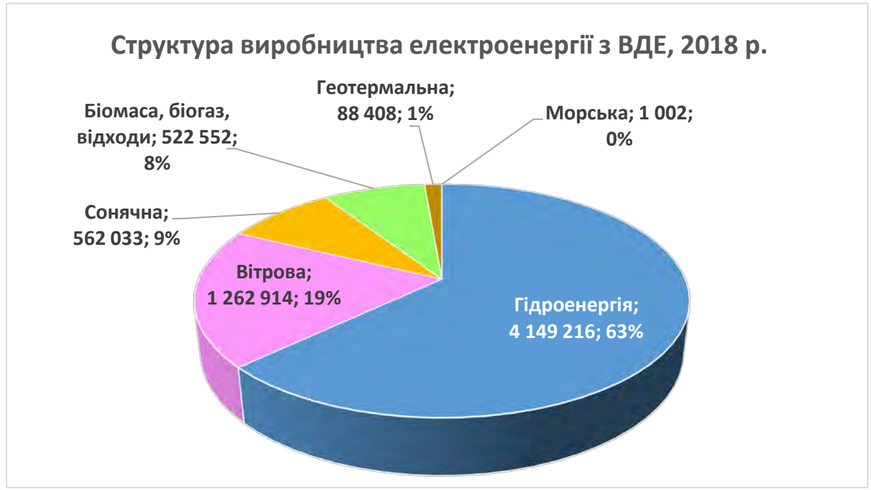
Найбільші ВЕС

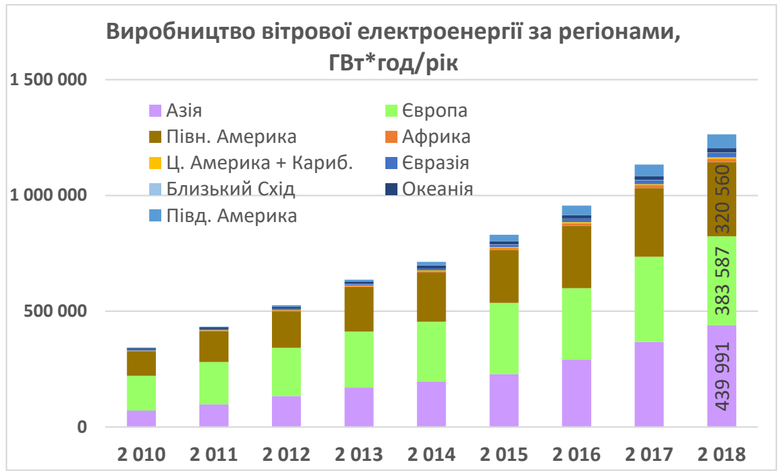


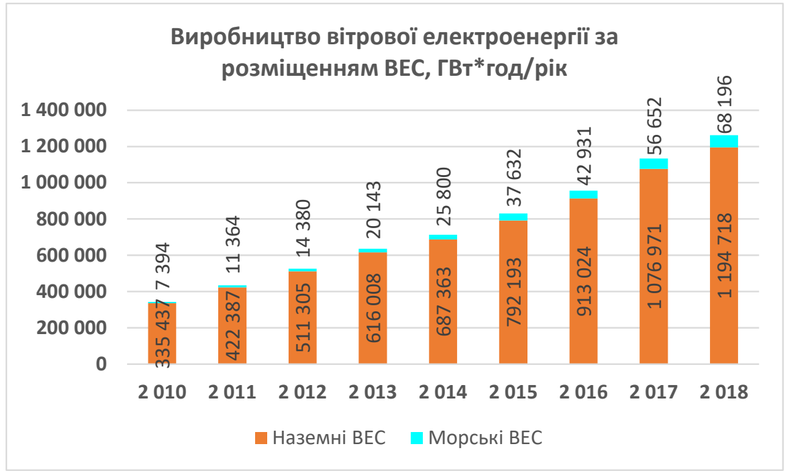
https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_offshore_wind_farms
https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_onshore_wind_farms
https://fkg.org/seawind-and-iberdrola-become-partners-for-offshore-wind-projects-in-poland/

Розвиток виробництва вітрової електроенергії в світі







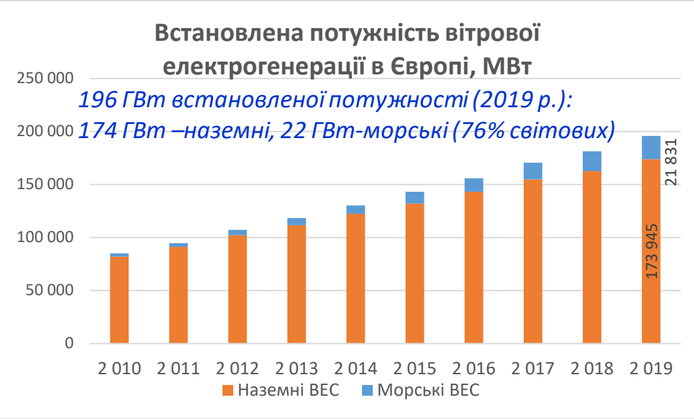


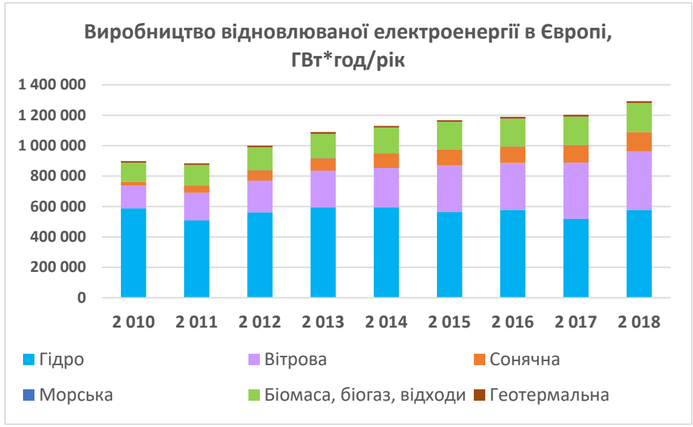
В 2018 році виробництво енергії вітру склало близько 4,7 % світового виробництва електричної енергії

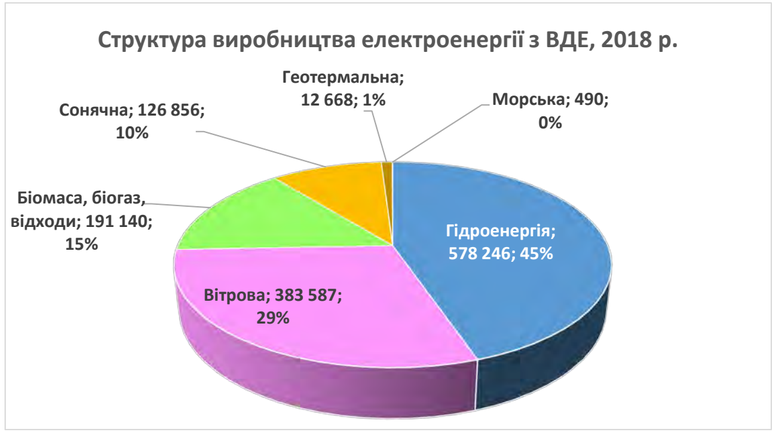
За даними: https://www.irena.org/ https://library.wwindea.org/global-statistics/

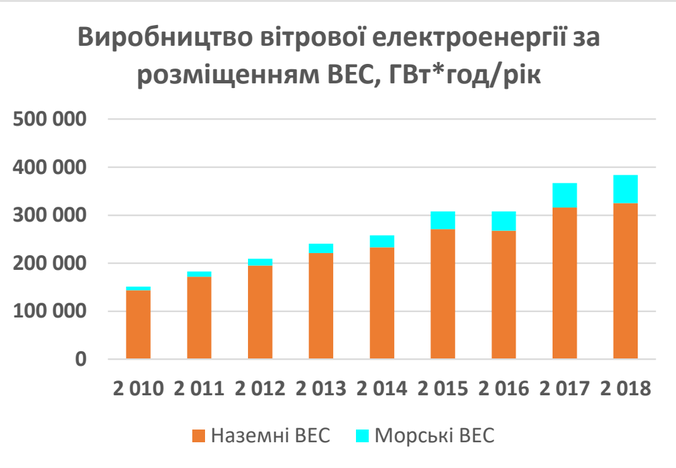
МІЖНАРОДНИЙ ФОНД ВІДРОДЖЕННЯ
ПРЯМУЄМО РАЗОМ

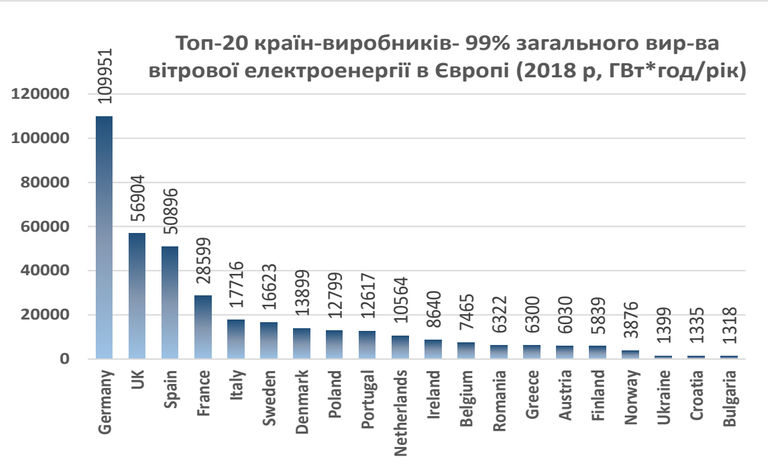
Розвиток вітрової енергетики в Європі

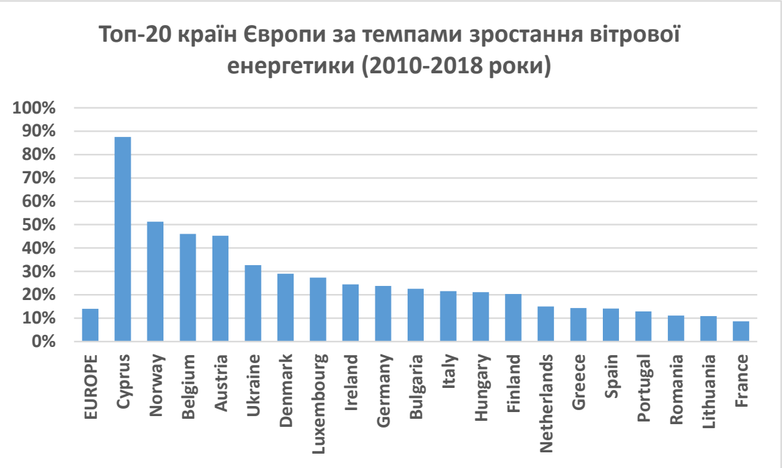








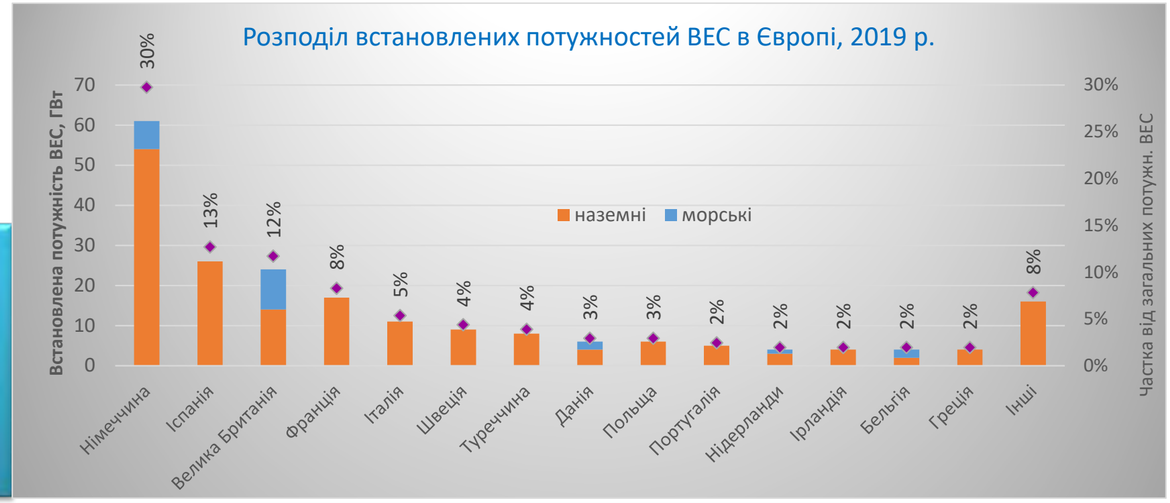




За даними: https://www.irena.org/

Розвиток вітрової енергетики в Європі

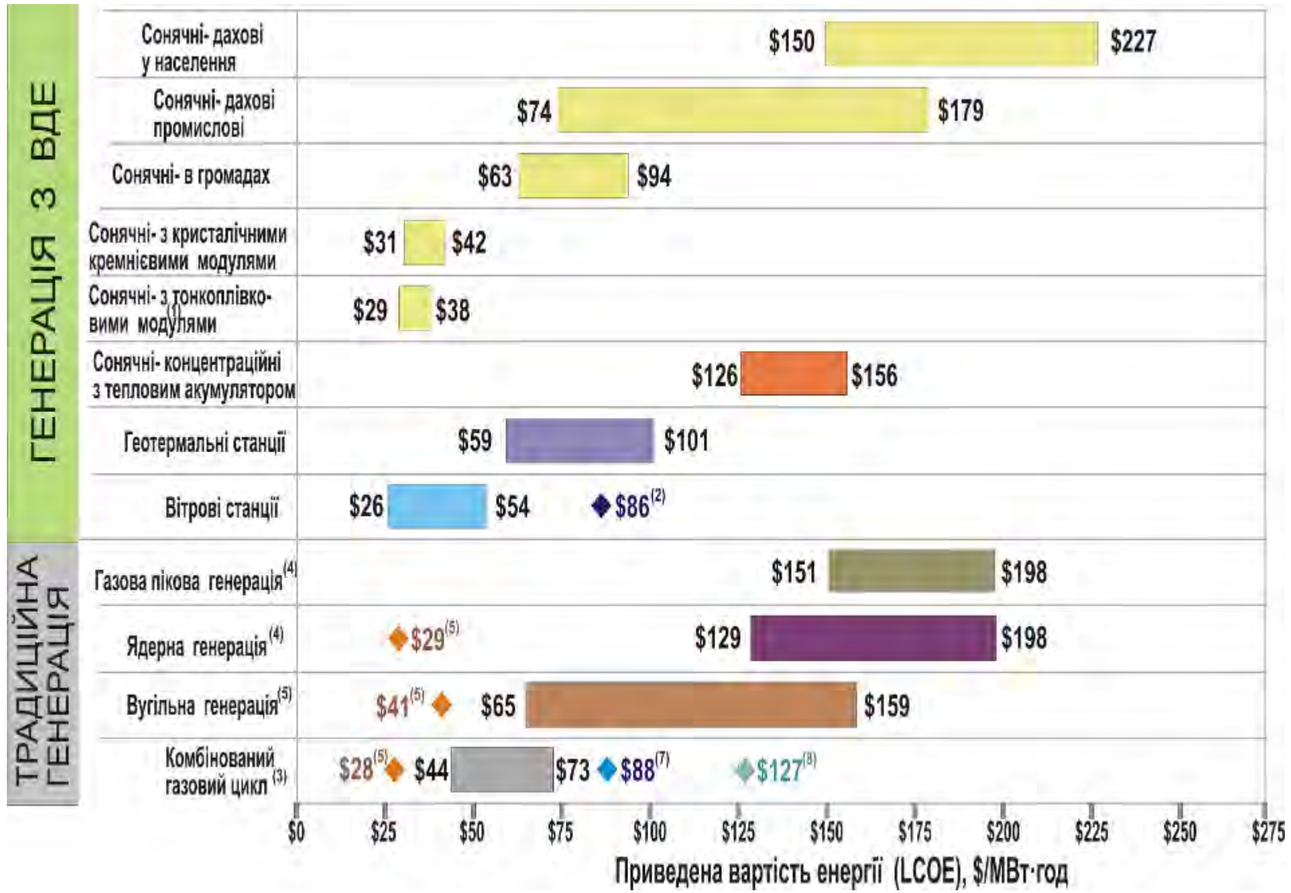
Частка потреби в електроенергії, що забезпечується ВЕС в Європі, 2019 рік



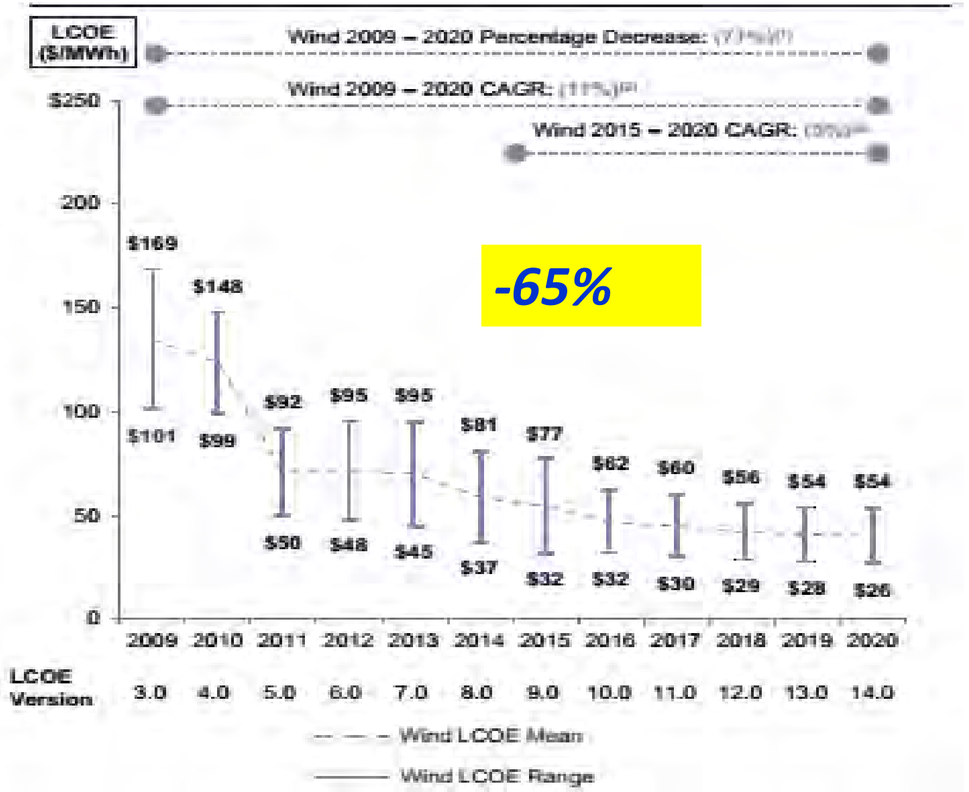
- ***В 2019 році вітровою генерацією покривалось 15% потреби в електроенергії ЄС (12,2%- від наземних, 2,3% - від морських ВЕС);***
- ***Морські ВЕС становлять 11% всієї встановленої потужності та виробляють 16% всієї вітрової електроенергії;***
- ***В 2019 році частка морських ВЕС склала 25% введених в дію нових потужностей вітрової електроенергетики;***
- ***55% загальної нової вітрогенерації в ЄС припадало на 4 країни- Велику Британію, Іспанію, Німеччину та Швецію;***
- ***Середній коефіцієнт використання потужності ВЕС: 24%- наземні, 38%-морські;***
- ***Середня одинична потужність вітротурбін, встановлених в 2019 році, склала:***
  - ***наземних – 2,3÷4,3 МВт;***
  - ***морських- 6,9÷8,4 МВт***

За даними: https:// windeurope.org

Конкурентоспроможність ВДЕ

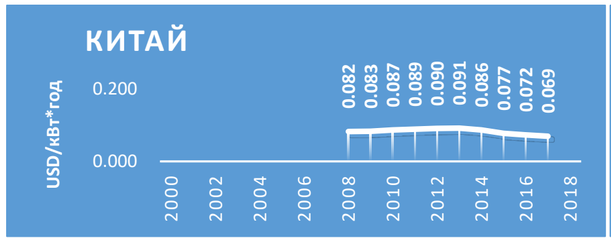


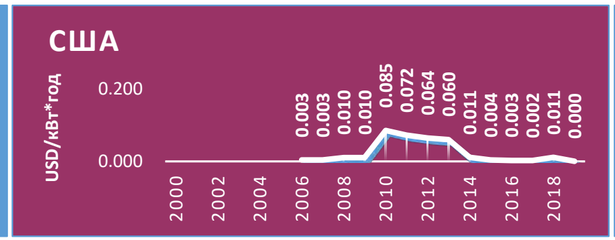
Вітрова генерація

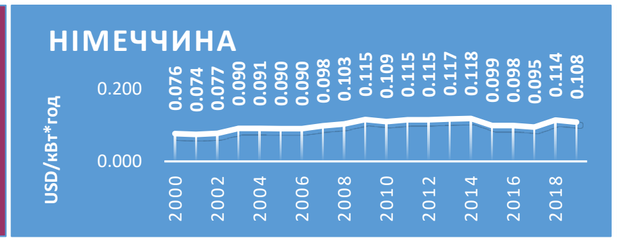


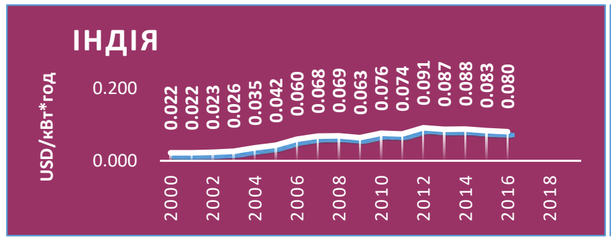
За матеріалами LAZARD, https://www.lazard.com/media/451419/lazards-levelized-cost-of-energy-version-140.pdf

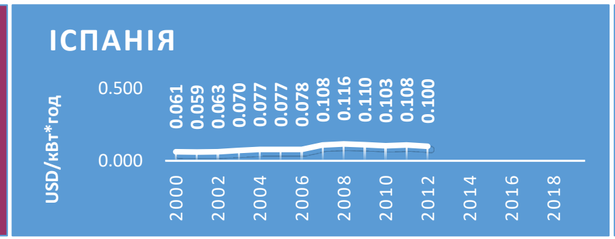
Підтримка вітрової енергетики: Feed-in Tariff

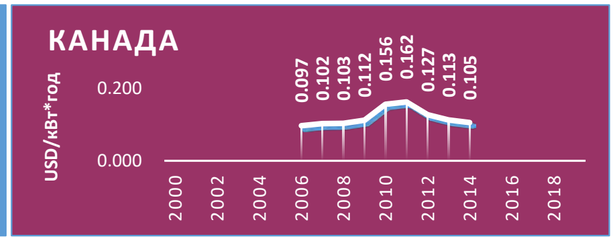


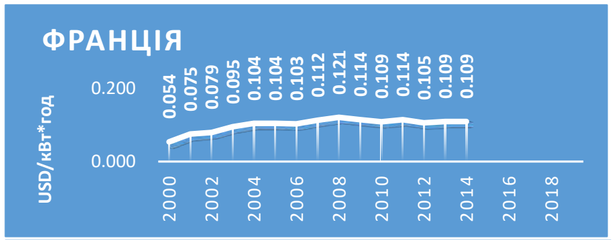


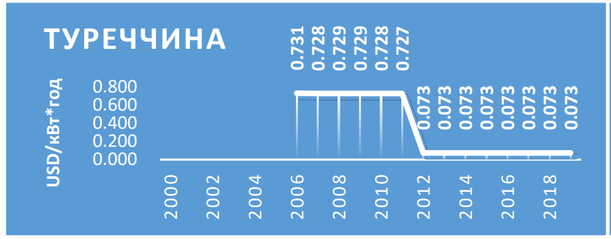


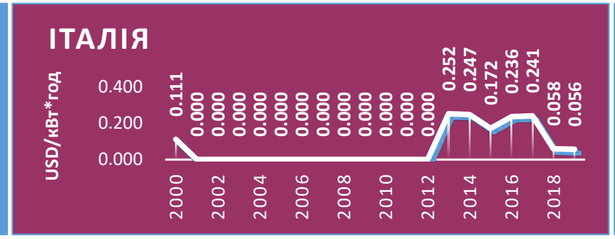


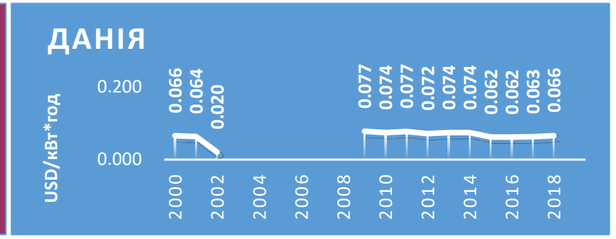


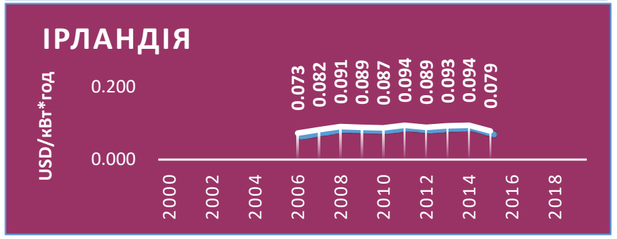


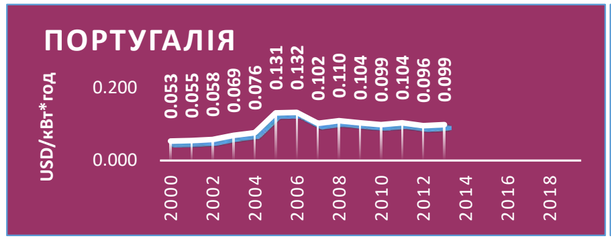


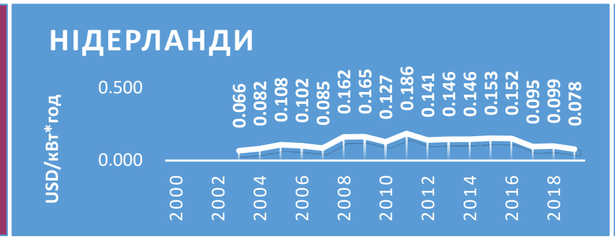


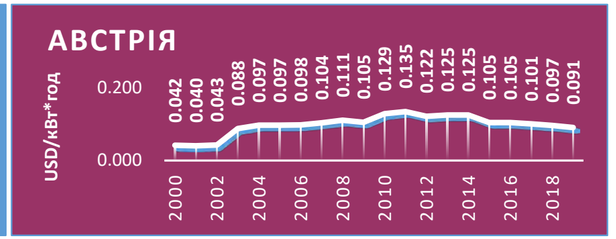








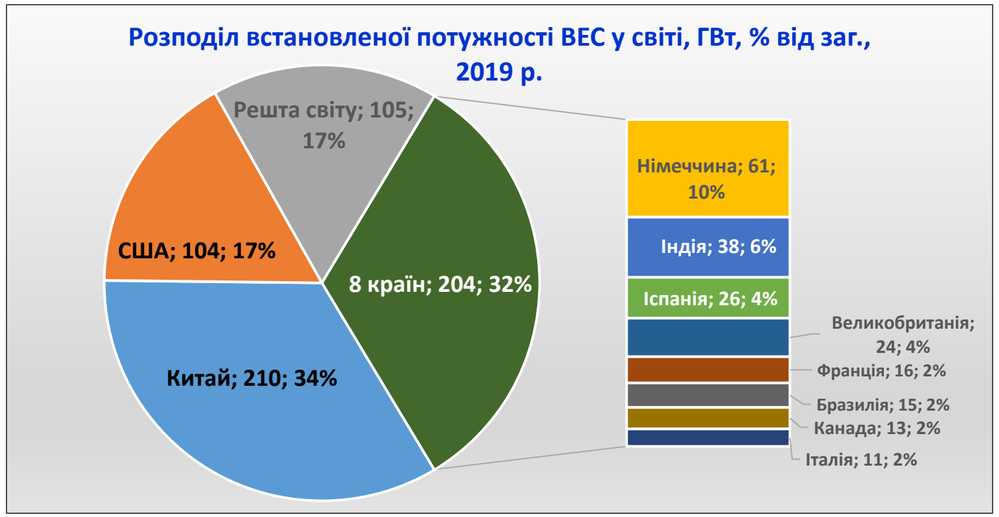


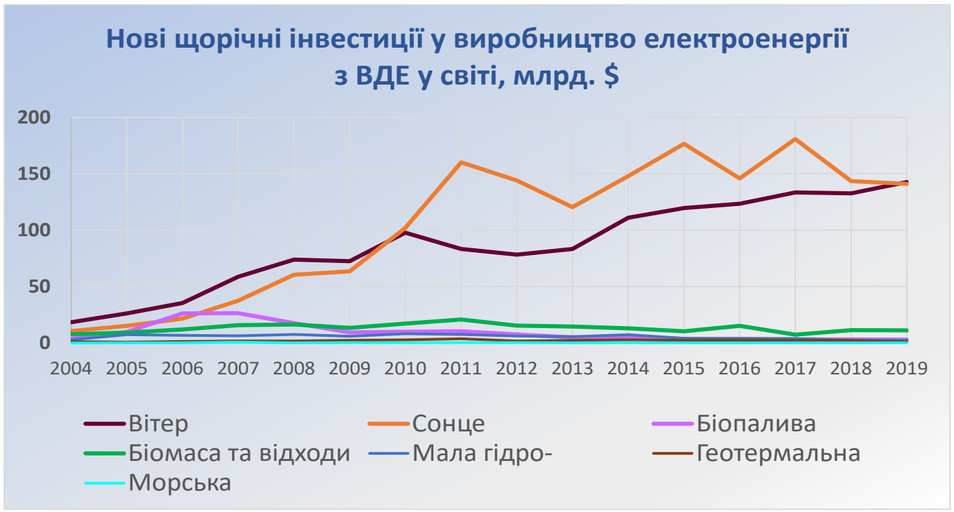


З 49 країн, що мали Feed-in Tariff в період з 2000 року, лише 13 країн зберегли можливість його отримання в 2019 році (в т.ч. Україна)

https://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=RE_FIT

Інвестиції у вітрову енергетику





- *В 2019 році інвестиції у вітрову енергетику в світі становили 143 млрд USD (найбільші серед секторів електроенергії з ВДЕ), введено 61 ГВт нових потужностей*
- *Середні питомі капітальні витрати :*
  - *1 050-1 450 USD/кВт для наземних;*
  - *3 130 USD/кВт для морських ВЕС*

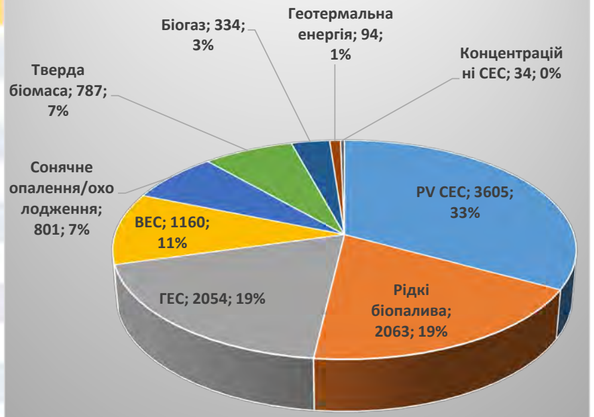
За даними: https://www.irena.org/
https:// windeurope.org

Створення нових робочих місць

К-ть робочих місць в галузях ВДЕ, 2017-2018 р.р.

	World	China	Brazil	United States	India	European Union[l]
	Thousand jobs					
Solar PV	**3,605**[e]	2,194	15.6	225	115[k]	96
Liquid biofuels	**2,063**	51	832[g]	311[h]	35	208
Hydropower[a]	**2,054**	308	203	66.5	347	74
Wind power	**1,160**	510	34	114	58	314
Solar thermal heating/cooling	**801**	670	41	12	20.7	24[m]
Solid biomass[b, c]	**787**	186		79[i]	58	387
Biogas	**334**	145		7	85	67
Geothermal energy[b,d]	**94**	2.5		35[j]		23
Concentrating solar thermal power (CSP)	**34**	11		5		5
Total	**10,983**[f]	**4,078**	**1,125**	**855**	**719**	**1,235**[n]

Створення робочих місць в галузях ВДЕ, 2017-2018 р.р. (тис.чол.,% від заг.)



https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/gsr_2019_full_report_en.pdf

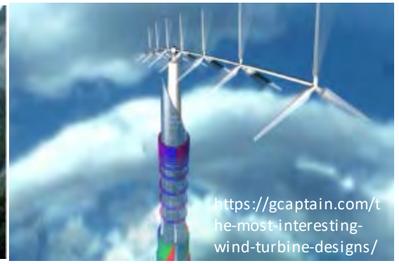
https://www.eurobserv-er.org/online-database/#

https://www.constructionequipmentguide.com/wind-turbine-erected-in-falls-river-mass/17804

МІЖНАРОДНИЙ ФОНД ВІДРОДЖЕННЯ

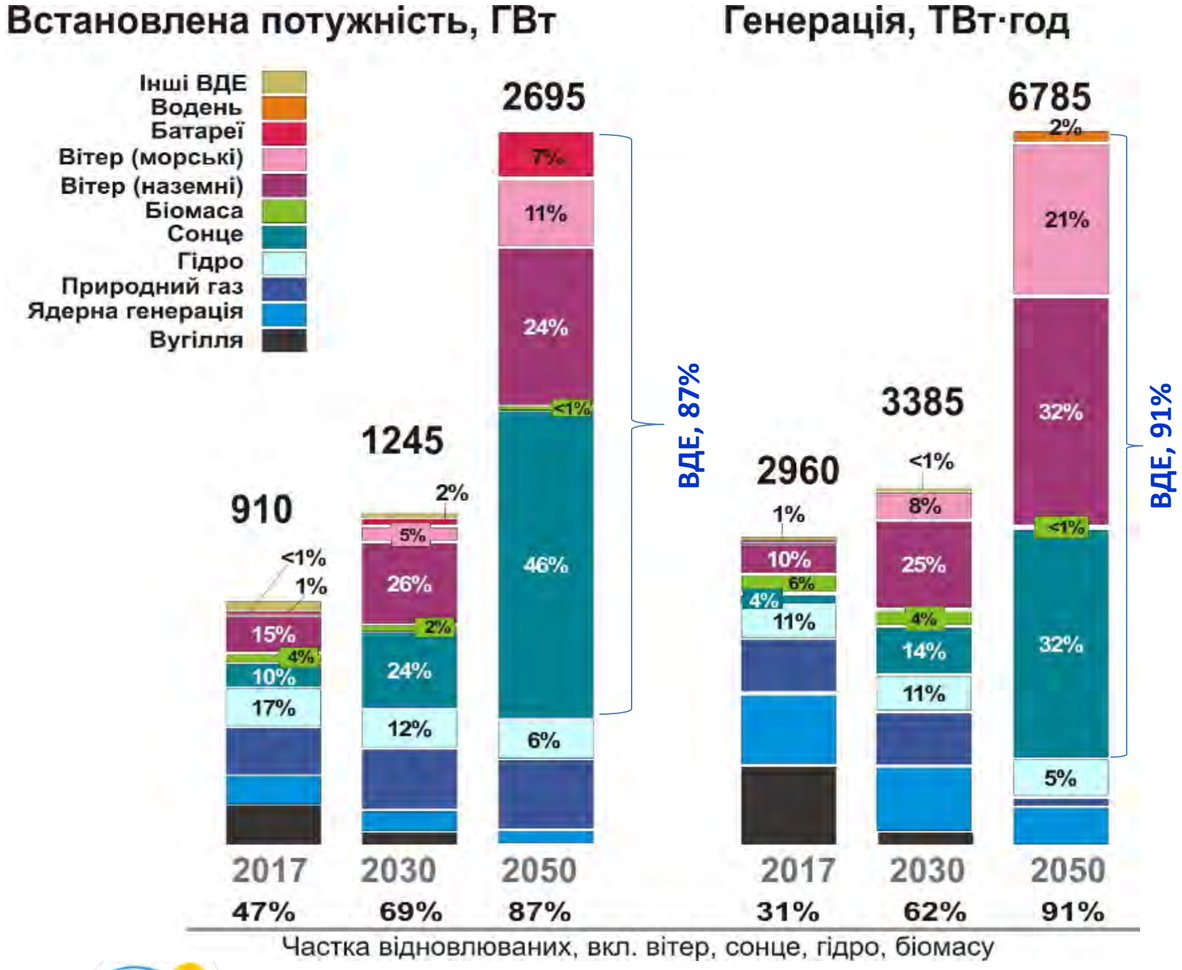
ПРЯМУЄМО РАЗОМ

Майбутнє вітроенергетики



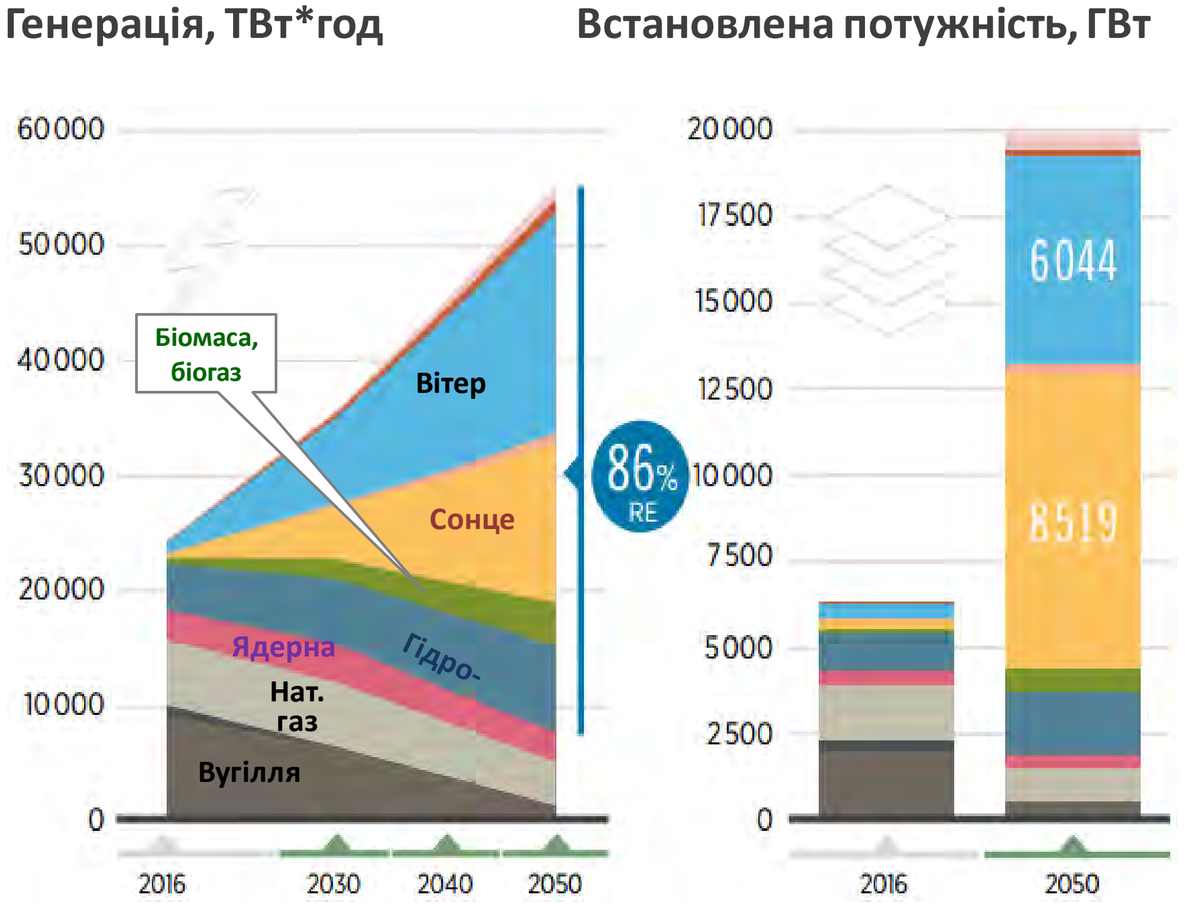
Перспективи розвитку вітрової енергетики в світі

Європейський Союз, електрична генерація (погляди компанії McKinsey)



https://www.mckinsey.com/business-functions/sustainability/our-insights/how-the-european-union-could-achieve-net-zero-emissions-at-net-zero-cost

СВІТ, електрична генерація (IRENA, Global energy transformation: A roadmap to 2050)

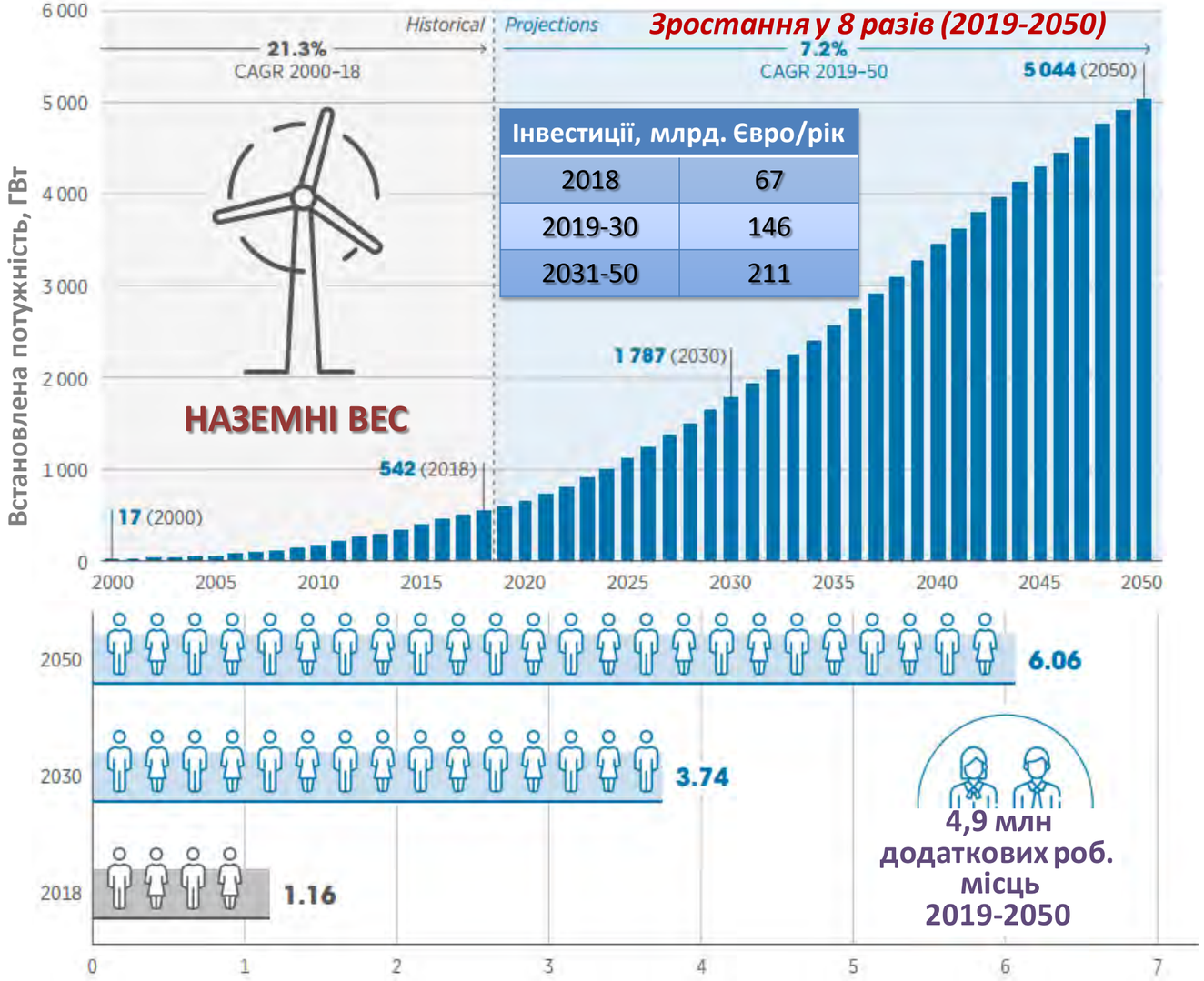


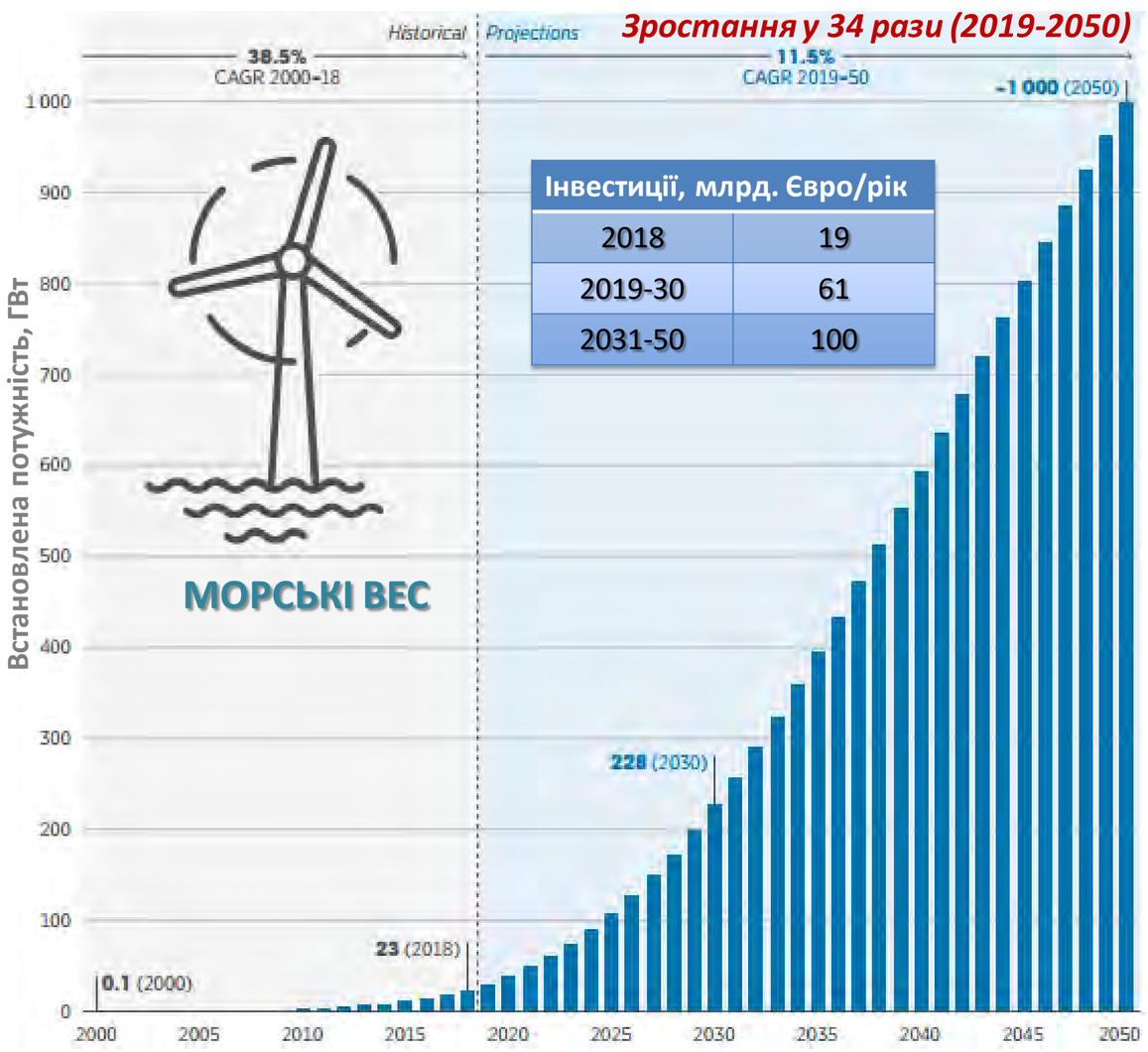
https://www.irena.org/publications/2019/Apr/Global-energy-transformation-A-roadmap-to-2050-2019Edition

МІЖНАРОДНИЙ ФОНД ВІДРОДЖЕННЯ

ПРЯМУЄМО РАЗОМ

Перспективи розвитку вітрової енергетики в світі





За даними: https://www.irena.org/

МІЖНАРОДНИЙ ФОНД ВІДРОДЖЕННЯ

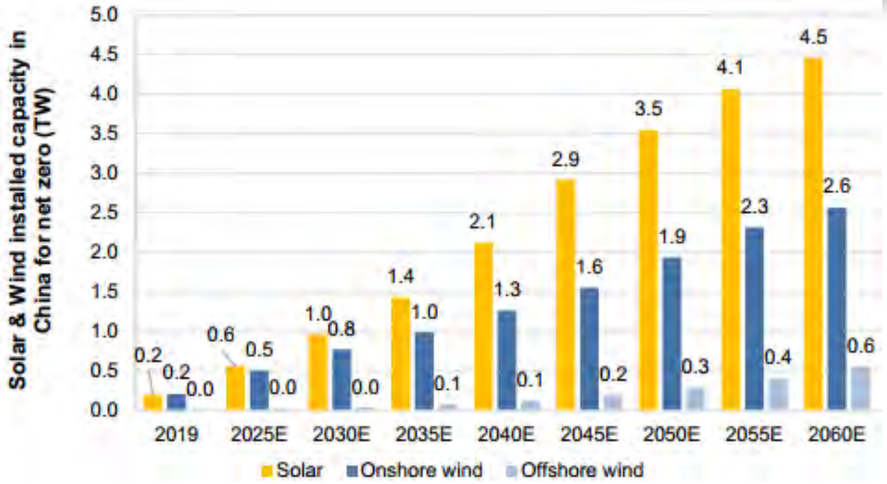
ПРЯМУЄМО РАЗОМ

Прогнози: ВДЕ в Китаї та США до 2050 р.

Китай

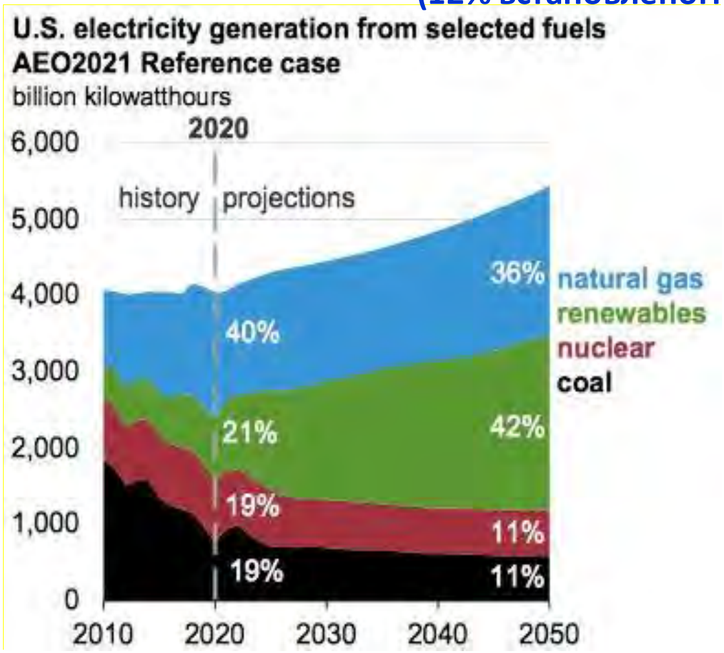
(26% встановленої потужності СЕС в світі)

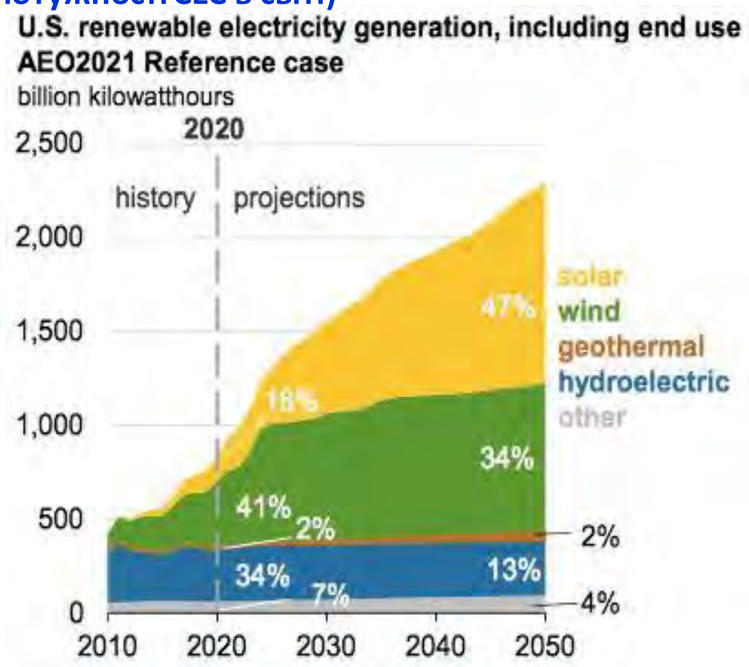
- **У вересні 2020 року Президентом КНР було озвучено наміри досягнути вуглецевої нейтральності Китаю до 2060 року.**
- Понад 85% енергії та більше 90% електричної енергії в 2050 році має надходити від невикопних палив та джерел енергії, для чого встановлена потужність «чистої» генерації має подвоїтись.
- Згідно найбільш амбітного сценарію, $6.4 трлн. знадобиться для побудови нової сонячної та вітрової електрогенерації, а встановлена потужність ВЕС може досягти **2 200 ГВт в 2050 р.**



США

(12% встановленої потужності СЕС в світі)





До 2050 р. потужність ВЕС у США може досягти 241 ГВт (приріст- 114 ГВт)

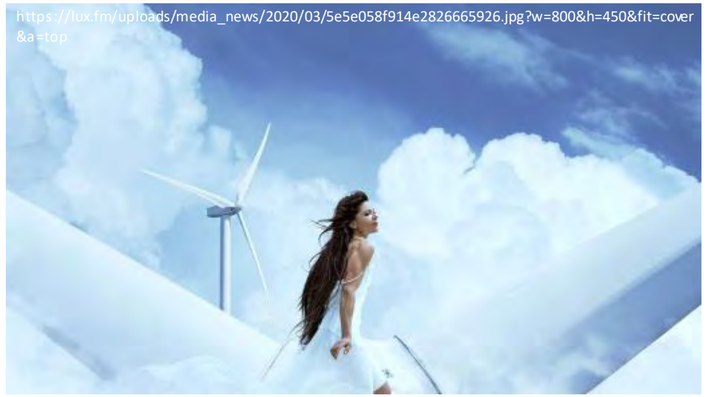
Середній темп приросту 2021-2050 – 3-4 ГВт/рік

Частка вітрової генерації в загальній генерації електроенергії з ВДЕ знизиться з 37 % в 2018 р. до 29% в 2050 р.

https://www.bloombergquint.com/onweb/china-s-top-climate-scientists-lay-out-road-map-to-hit-2060-goal
https://energypost.eu/chinese-energy-institutes-present-new-net-zero-scenarios-for-2050/
https://www.goldmansachs.com/insights/pages/gs-research/carbonomics-china-netzero/report.pdf
https://www.eia.gov/outlooks/aeo/pdf/04%20AEO2021%20Electricity.pdf
https://www.connaissancedesenergies.org/sites/default/files/pdf-actualites/AEO2020%20Full%20Report.pdf

Висновки:

http://dutchwindwheel.com/en/unique-landmark


https://lux.fm/uploads/media_news/2020/03/5e5e058f914e2826665926.jpg?w=800&h=450&fit=cover&a=top

- В усьому світі будівництво вітроенергетичних потужностей прискорюється. Вітрова електроенергія за обсягами виробництва є другою серед ВДЕ, поступаючись лише гідроенергії.
- Провідні країни- Китай, США та Німеччина, їх сумарна частка становить близько 60% у встановленій потужності та виробленій електроенергії ВЕС. При цьому частка Китаю становить близько третини у світовій вітроенергетиці.
- Україна в цьому переліку займає 34-е місце за встановленою потужністю (2019 р.), поступаючись Німеччині майже в 50 разів, Іспанії- в 20 разів, в 4-5 разів таким країнам, як Данія, Польща, Португалія, Нідерланди, та майже в 3 рази- Бельгії, Греції, Австрії.
- В технологічному плані, іде постійне вдосконалення конструкцій вітрових турбін, зростання їх одиничної потужності, розробляються нові технології перетворення вітрової енергії. Значні надії покладаються на розвиток офшорної вітроенергетики та розвиток відповідних технологій.
- Зростає конкурентоспроможність вітрової енергетики порівняно з традиційною електричною генерацією завдяки зниженню вартості виробництва вітрової електроенергії, і цей процес, очевидно, триватиме і надалі.
- В 2050 році вітроенергетика зможе задовольнити 35% світових енергетичних потреб. Для цього, встановлена потужність вітрової генерації має зрости вдесятеро - до 6 000 гігават, у тому числі 5 000 ГВт на суші та 1 000 ГВт в морі.
- Прискорений розвиток вітроенергетики має поєднуватися з глибокою електрифікацією та підвищенням енергоефективності. За цих умов, енергія вітру забезпечить більше чверті загального скорочення викидів до 2050 року, або майже 6,3 гігатон вуглекислого газу щороку.
- Розвиток вітрової енергетики може створити до 5 млн нових робочих місць до 2050 року, збільшивши кількість зайнятих в цій галузі майже у 6 разів.

https://www.irena.org/publications/2019/Nov/Future-of-Solar-Photovoltaic

Дякую за увагу!

Володимир Крамар

Інститут технічної теплофізики НАН України,

03067, м Київ, вул. Марії Капніст, 2А

+38 (044) 456-94-62, +38 (067) 981-97-81, kramar@secbiomass.com

https://uabio.org

EU4USOCIETY

ПРЕЗЕНТАЦІЮ ПІДГОТОВЛЕНО ЗА ПІДТРИМКИ ЄВРОПЕЙСЬКОГО СОЮЗУ
ТА МІЖНАРОДНОГО ФОНДУ «ВІДРОДЖЕННЯ».
ПРЕЗЕНТАЦІЯ ВІДОБРАЖАЄ ПОЗИЦІЮ АВТОРІВ
І НЕ ОБОВ'ЯЗКОВО ВІДОБРАЖАЄ ПОЗИЦІЮ МІЖНАРОДНОГО ФОНДУ
«ВІДРОДЖЕННЯ» ТА ЄВРОПЕЙСЬКОГО СОЮЗУ

МІЖНАРОДНИЙ ФОНД ВІДРОДЖЕННЯ

ПРЯМУЄМО РАЗОМ