

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ВІДНОВЛЮВАНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

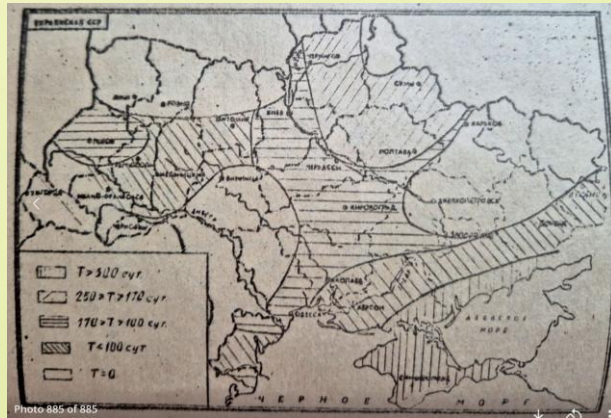
**ВПЛИВ ГРАНИЧНОГО ЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ВИКОРИСТАННЯ
НОМІНАЛЬНОЇ ПОТУЖНОСТІ НА РЕЗУЛЬТАТИ ОЦІНКИ
ТЕХНІЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ ВІТРОВИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ УКРАЇНИ**

PhD, н.с. Петренко Катерина

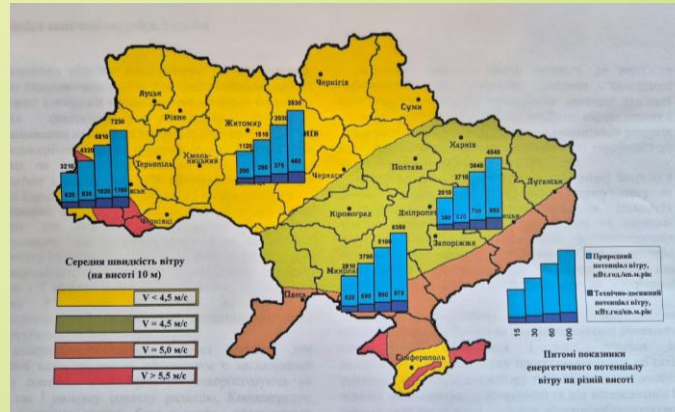
Київ – 2026



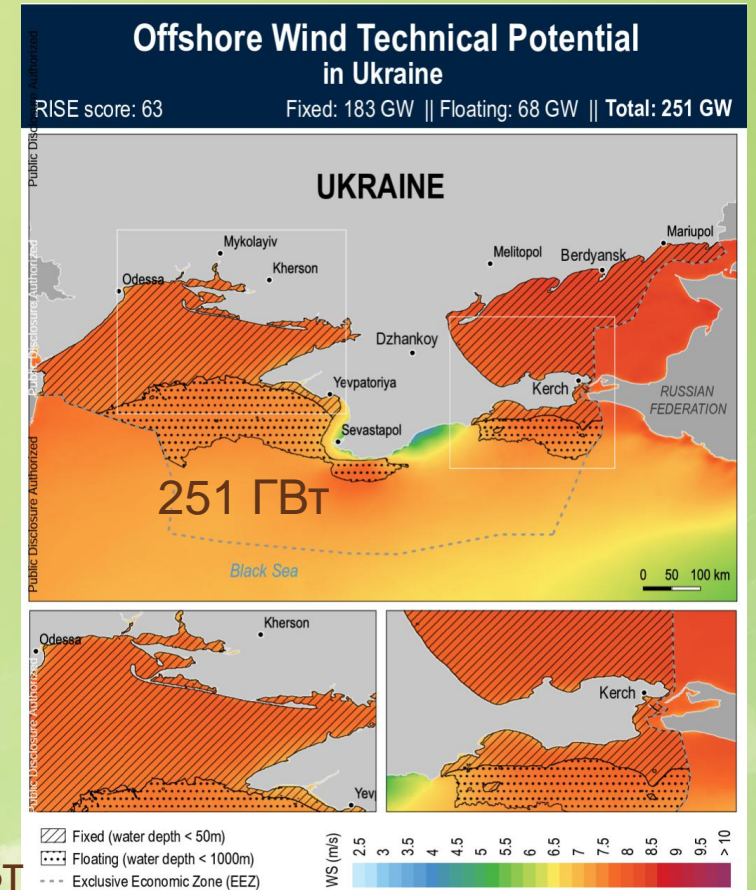
ПОПЕРЕДНІ ВАРІАНТИ ОЦІНКИ ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ



Головко В.М., 1990 р.



МНТЦ вітроенергетики, 2008



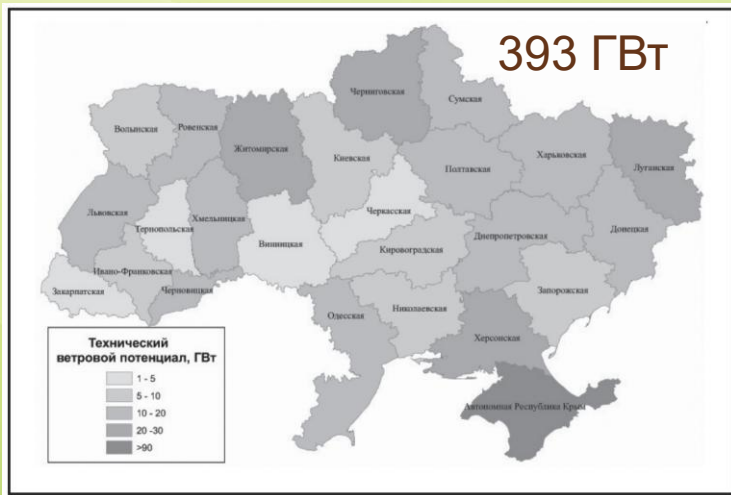
688 ГВт

438 ГВт оншорної

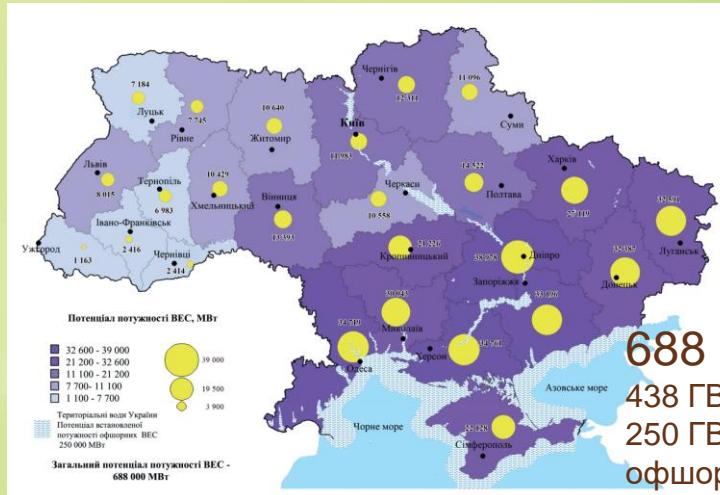
250 ГВт

офшорної

THE WORLD BANK, 2020



Макаровський Є. Л., 2012



ІВЕ НАНУ, 2020

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ

Актуальність дослідження обумовлена необхідністю підвищення точності оцінки вітроенергетичного потенціалу для забезпечення ефективного планування розвитку вітроенергетики України відповідно до Енергетичної стратегії країни до 2035 та 2050 років, а також згідно з світовими тенденціями зростання частки відновлюваних джерел енергії в загальному балансі електрогенерації.

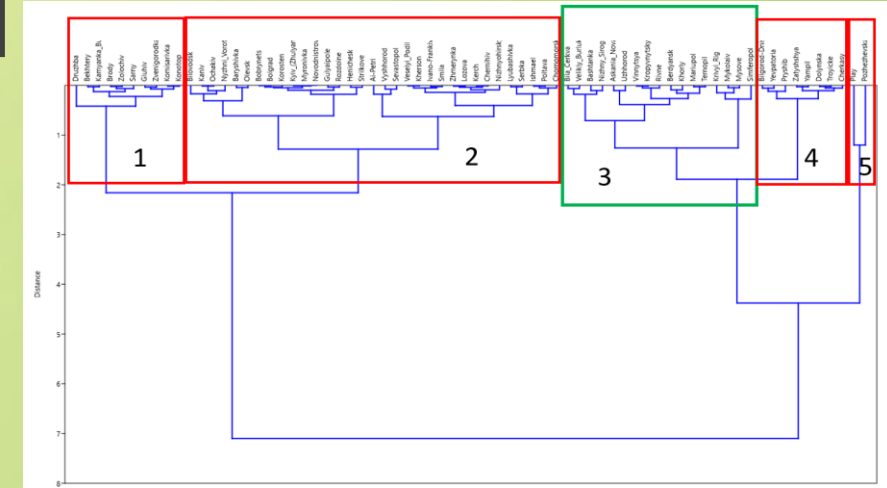
В залежності від технічних умов, припущень та обмежень, які висуваються дослідником в процесі визначення вітроенергетичного потенціалу території (вихідні дані про швидкість та напрямок вітру, характеристики вертикального профілю вітру, природні та законодавчі обмеження щодо придатності і доступності території під будівництво ВЕС, характеристики ВЕУ, що використовуються при розрахунках, обмеження територій чи акваторії за показником середньої швидкості вітру на певній висоті чи КВНП тощо) отримані результати можуть суттєво відрізнятися.

АКТУАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ В ОЦІНЦІ ПОТЕНЦІАЛУ ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ РЕСУРСІВ ТЕРИТОРІЇ:

- - Суттєві розбіжності у результатах оцінки вітроенергетичного потенціалу території України
- - Використання супутникових даних або даних МС без попередньої їх верифікації
- - Ігнорування або недостатнє врахування геопросторових обмежень
- - Відсутність інтегрованих ГІС-рішень
- - Стрімке зростанні попиту на оперативну оцінку потенціалу вітроенергетичних ресурсів (на рівні громад, районів, областей).

Формування бази даних швидкості та напрямку вітру метеорологічні параметри

Кластеризація супутникових даних реаналізу:



Номер кластеру	I	II	III	IV	V
Кількість МС в кластері	10	33	17	8	2
Середня швидкість вітру за даними МС, м/с	2,20	2,83	3,87	3,43	4,20
Середня швидкість вітру за даними реаналізу, м/с	4,45	4,48	4,40	4,57	2,17
Різниця ($V_{реан} - V_{МС}$), м/с	2,25	1,65	0,53	1,14	-2,03
Відносна похибка, %	102,27	58,3	13,95	32,94	-48,33
Коефіцієнт кореляції	0,82	0,79	0,84	0,79	0,60
Серед. град. закритості МС	6,48	5,11	3,96	3,10	4,90

70 метеорологічних станцій

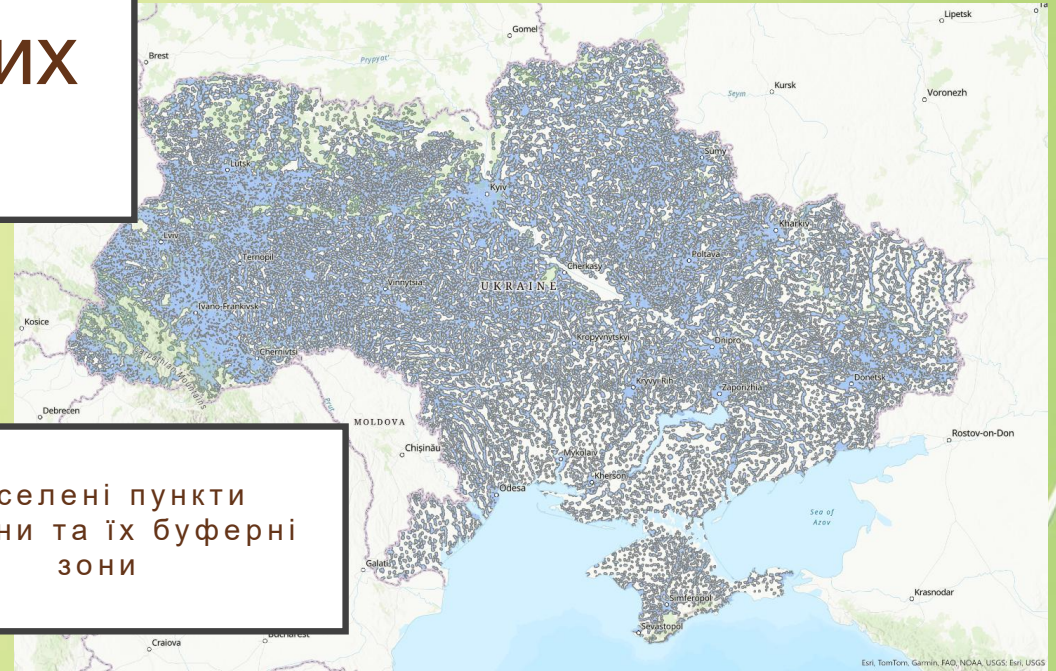
20 віртуальних точок в акваторії України



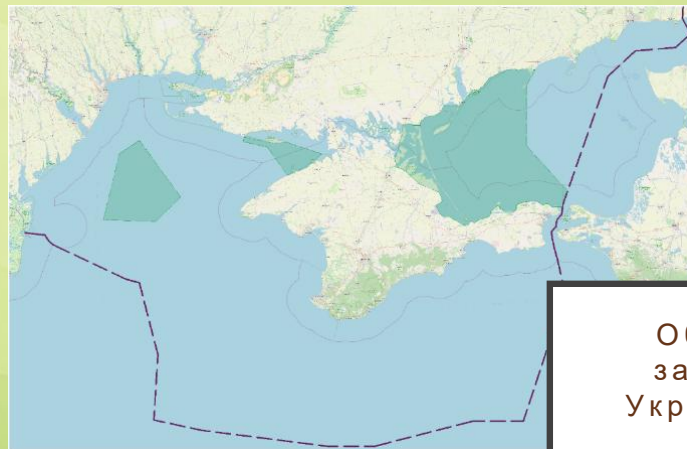
Потенціал доступних та придатних площ для будівництва ВЕС



Водні об'єкти України та їх буферні зони



Населені пункти України та їх буферні зони



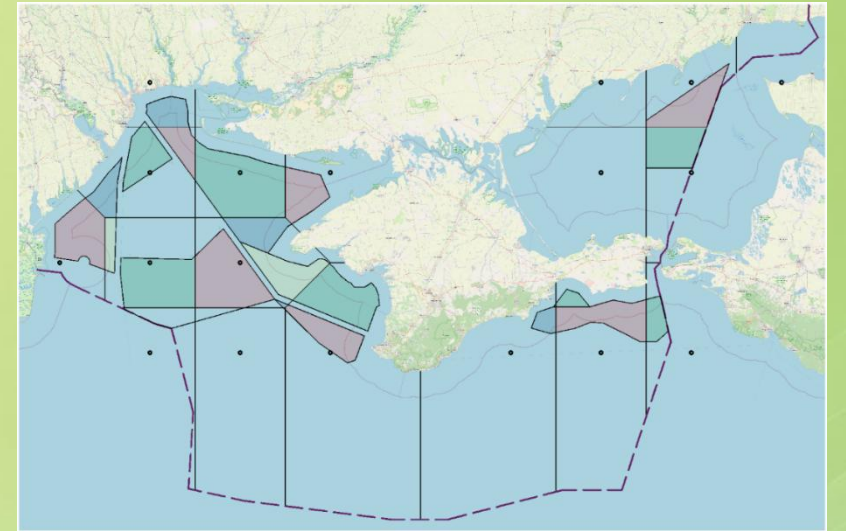
Об'єкти природно-заповідного фонду України та їх буферні зони

Припущення:

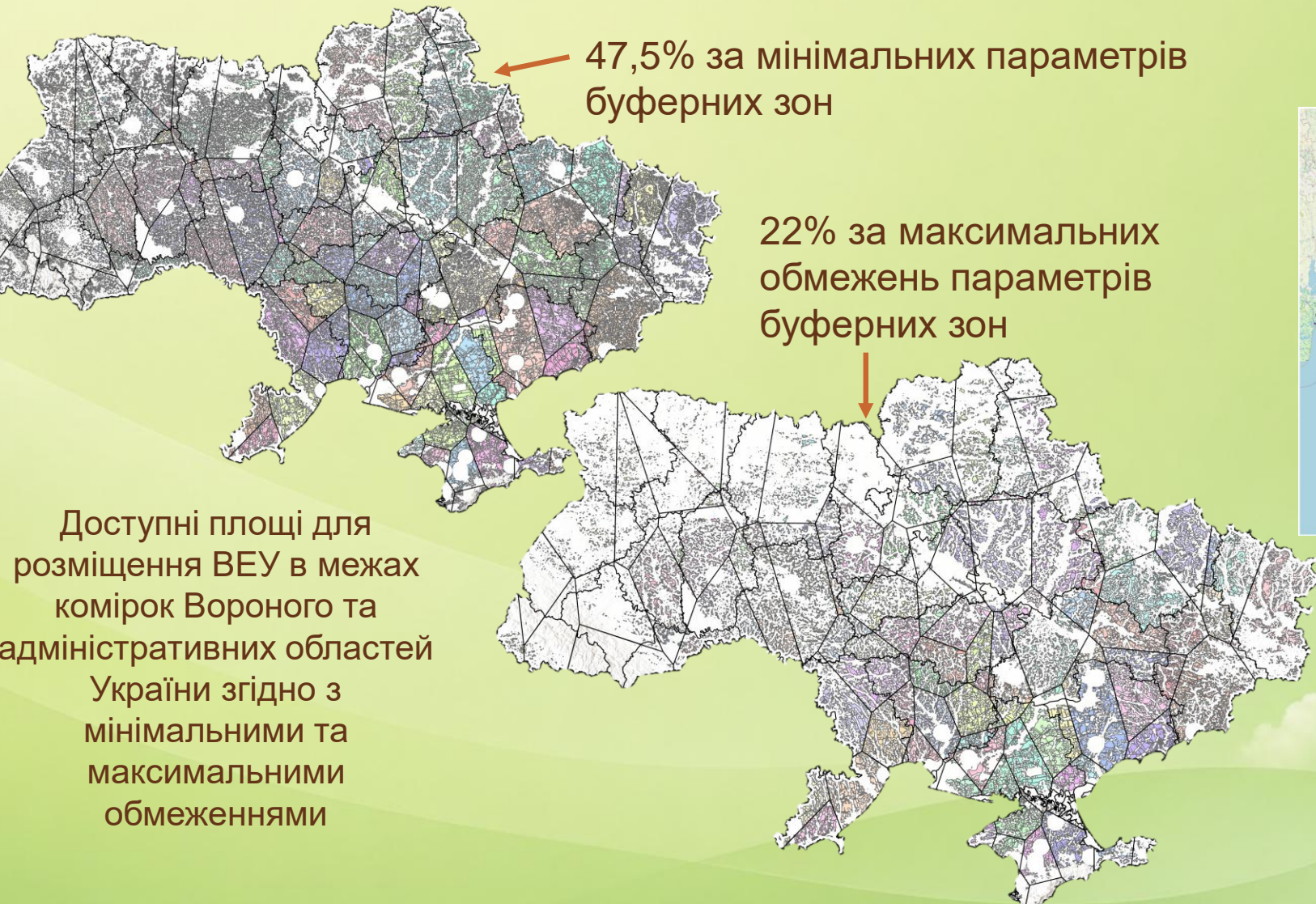
- Не враховувати логістичні обмеження
- Не враховувати родовища корисних копалин та шляхи міграції птахів
- Використовувати «віртуальну ВЕУ» для розрахунків

Потенціал доступних та придатних площ для будівництва ВЕС

Доступні площі для розміщення ВЕС в межах комірок Вороного для виключної морської економічної зони України



55% акваторії за мінімальних параметрів буферних зон
21% за максимальних обмежень параметрів буферних зон



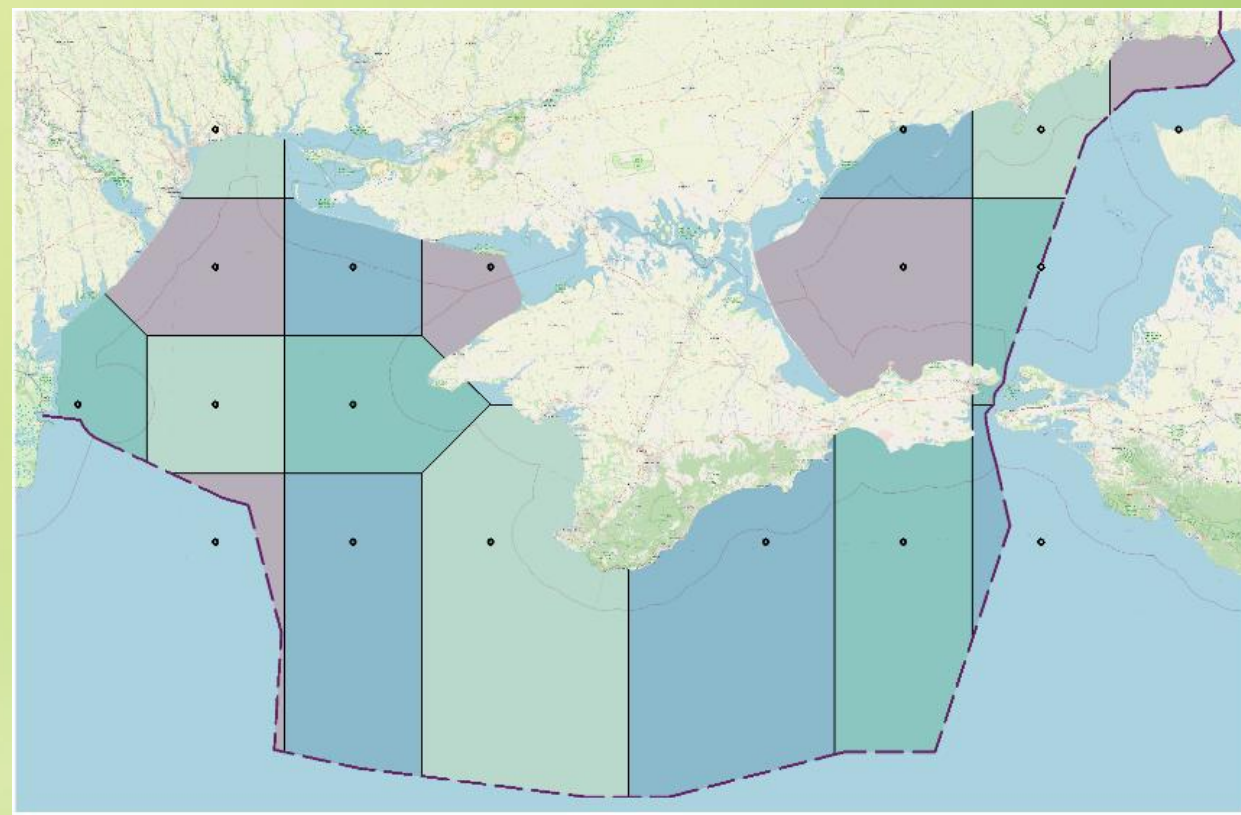
47,5% за мінімальних параметрів буферних зон

22% за максимальних обмежень параметрів буферних зон

Доступні площі для розміщення ВЕС в межах комірок Вороного та адміністративних областей України згідно з мінімальними та максимальними обмеженнями

ДІАГРАМИ ВОРОНОГО

ДЛЯ ТЕРИТОРІЇ СУХОДОЛУ ТА ДЛЯ АКВАТОРІЇ УКРАЇНИ



Технічний потенціал

Математична модель визначення технічного потенціалу вітроенергетичних ресурсів України

$$E_i = \rho \cdot S_i \cdot \sum_{j=1}^N P \left(v_{ij}^{(10)} \cdot \left(\frac{h_r}{h_0} \right)^{\alpha_i} \right) \cdot \Delta t,$$

$$E = \sum_{i=1}^{70} \left[\rho \cdot S_i \sum_{j=1}^N P \left(v_{ij}^{(10)} \cdot \left(\frac{h_r}{h_0} \right)^{\alpha_i} \right) \cdot \Delta t \cdot \mathbf{1}(CF_i \geq 0.2) \right],$$

$$S_i = |S_{\Pi i}| - |S_{exi}| = \iint_{S_{\Pi i}} \left[1 - \min \left(1, \sum_{k=1}^n \mathbf{1}^{(k)}(x, y) \right) \right] dx dy,$$

$$P = \sum_{i=1}^{70} P_{\text{вст}i} = \sum_{i=1}^{70} \mathbf{1}_{(CF_i \geq 0,2)} \cdot \left(\frac{S_i}{S_{\text{BEU}}} \cdot P_{\text{НОМ}} \right).$$

Якщо $i=1, \dots, 70$ – індекс комірки Вороного;

$j=1, \dots, N$ – індекс 3-х годинного інтервалу, $N = \frac{24}{3} \cdot 365 \cdot 10 = 29200$;

E_i – технічний потенціал виробітку електричної енергії в комірці Вороного i , кВт·год;

E – технічний потенціал виробітку електричної енергії на території України, кВт·год;

$P_{\text{НОМ}}$ – номінальна потужність однієї ВЕУ;

$P(v)$ – функція потужності ВЕУ (*power curve*);

P – потенціал встановленої потужності для всієї території України;

ρ – щільність встановлення ВЕУ, ВЕУ/км²;

S_i – доступна та придатна площа в комірці Вороного i , км²;

$\rho \cdot S_i$ – кількість ВЕУ у комірці Вороного, шт;

h_0 10=м – базова висота вимірювання швидкості вітру на МС;

h_r – висота осі ротора ВЕУ, м;

α – параметр вертикального профілю вітру;

$\Delta t=3$ год;

CF_i – КВНП ВЕУ в комірці Вороного i , $CF = \frac{E_i}{\rho \cdot S_i \cdot P_{\text{НОМ}} \cdot 8760}$;

$\mathbf{1}(\cdot)$ – індикаторна функція, яка дорівнює 1, якщо умова виконується, або 0 – якщо ні;

$S_{\Pi i}$ – загальна площа комірки Вороного i ;

S_{exi} – площа шарів обмежень, які виключаються з розрахунків, $S_{exi} \subset S_i$ – об'єднання всіх шарів обмежень і їх буферних зон;

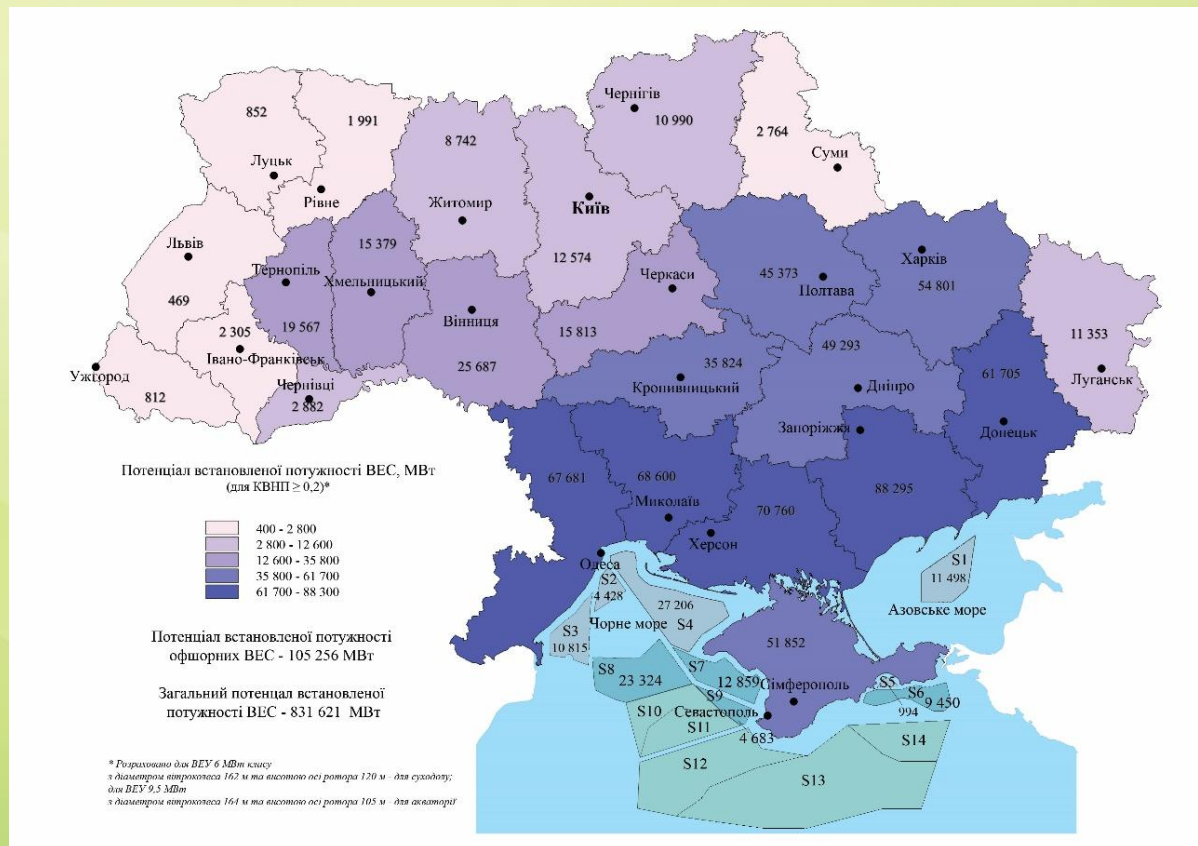
S_{BEU} – площа, необхідна для встановлення 1 ВЕУ і залежить від вибраної схеми розстановки ВЕУ по території;

Якщо набір n шарів обмежень ($E_{exi}^{(1)}$ – ліси та їх буферні зони, $E_{exi}^{(2)}$ – водні об'єкти та їх буферні зони, $E_{exi}^{(3)}$ – населені пункти та їх буферні зони, ..., $E_{exi}^{(k)}$), то для кожного з них можна ввести свою індикаторну функцію: $\mathbf{1}^{(k)}(x, y)$

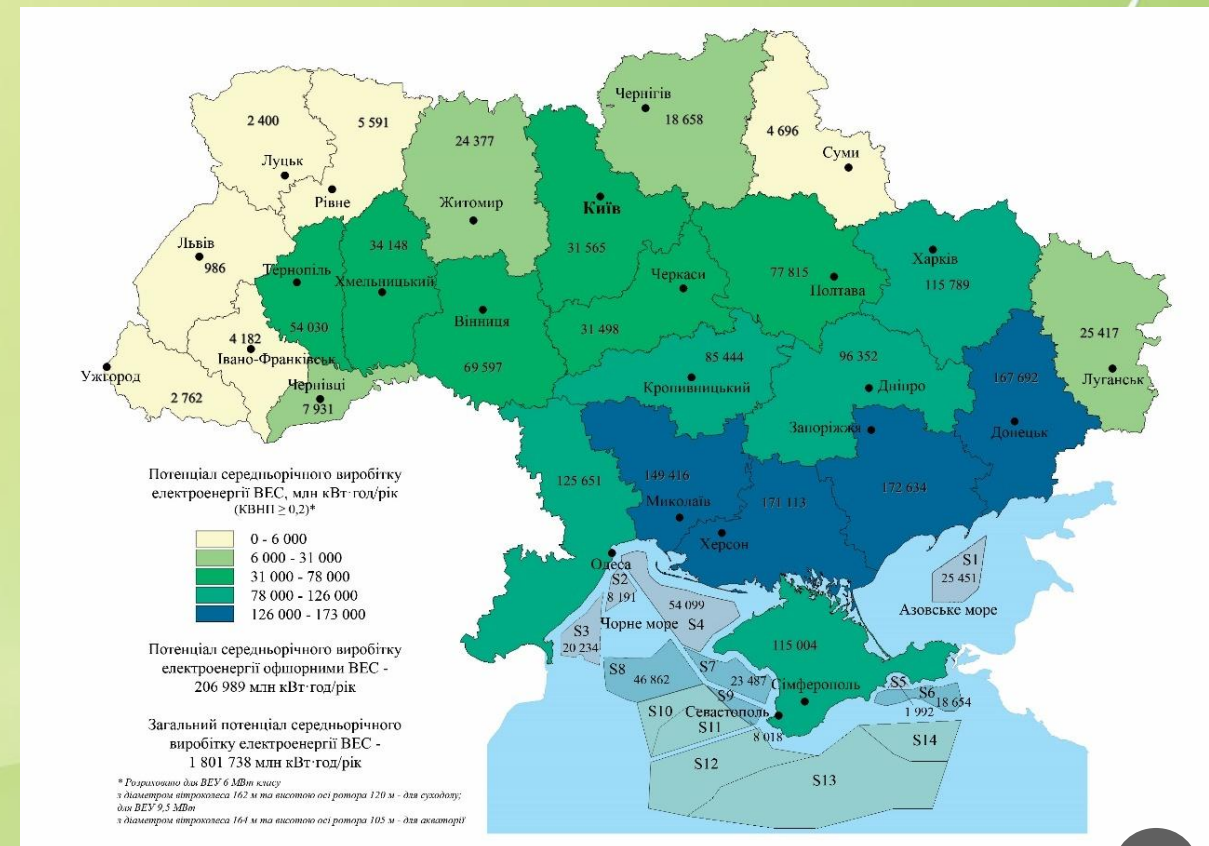
$$= \begin{cases} 1, & \text{якщо } (x, y) \in E_{exi}^{(k)} \\ 0, & \text{інакше} \end{cases}$$

Технічний потенціал КВНП $\geq 0,2$

Технічний потенціал встановленої потужності ВЕС



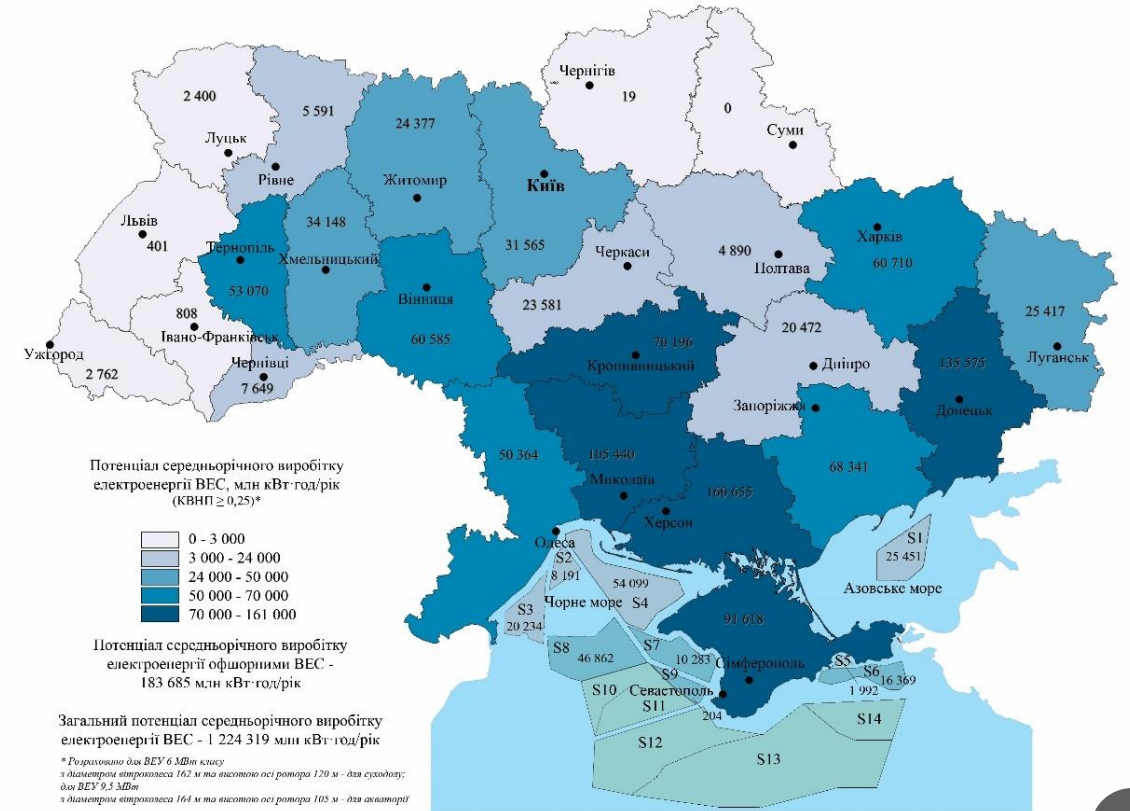
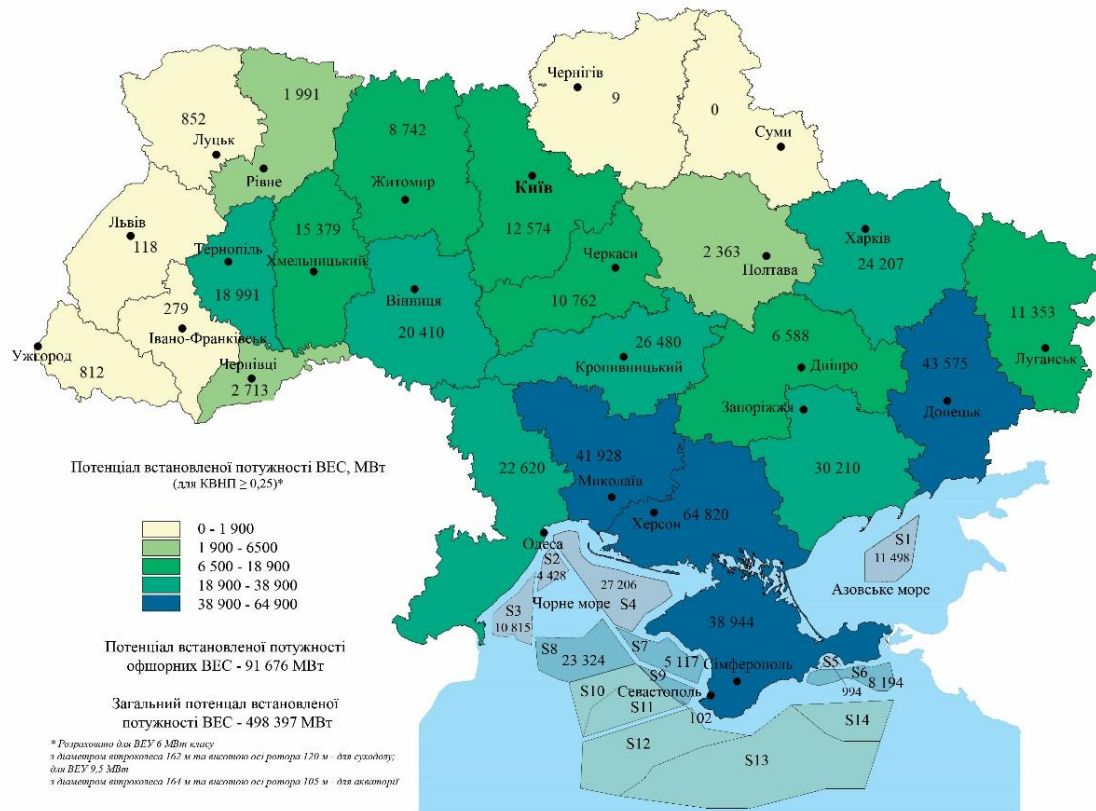
Технічний потенціал середньорічного виробітку електричної енергії ВЕС



Технічний потенціал КВНП $\geq 0,25$

Технічний потенціал встановленої потужності ВЕС

Технічний потенціал середньорічного виробітку електричної енергії ВЕС



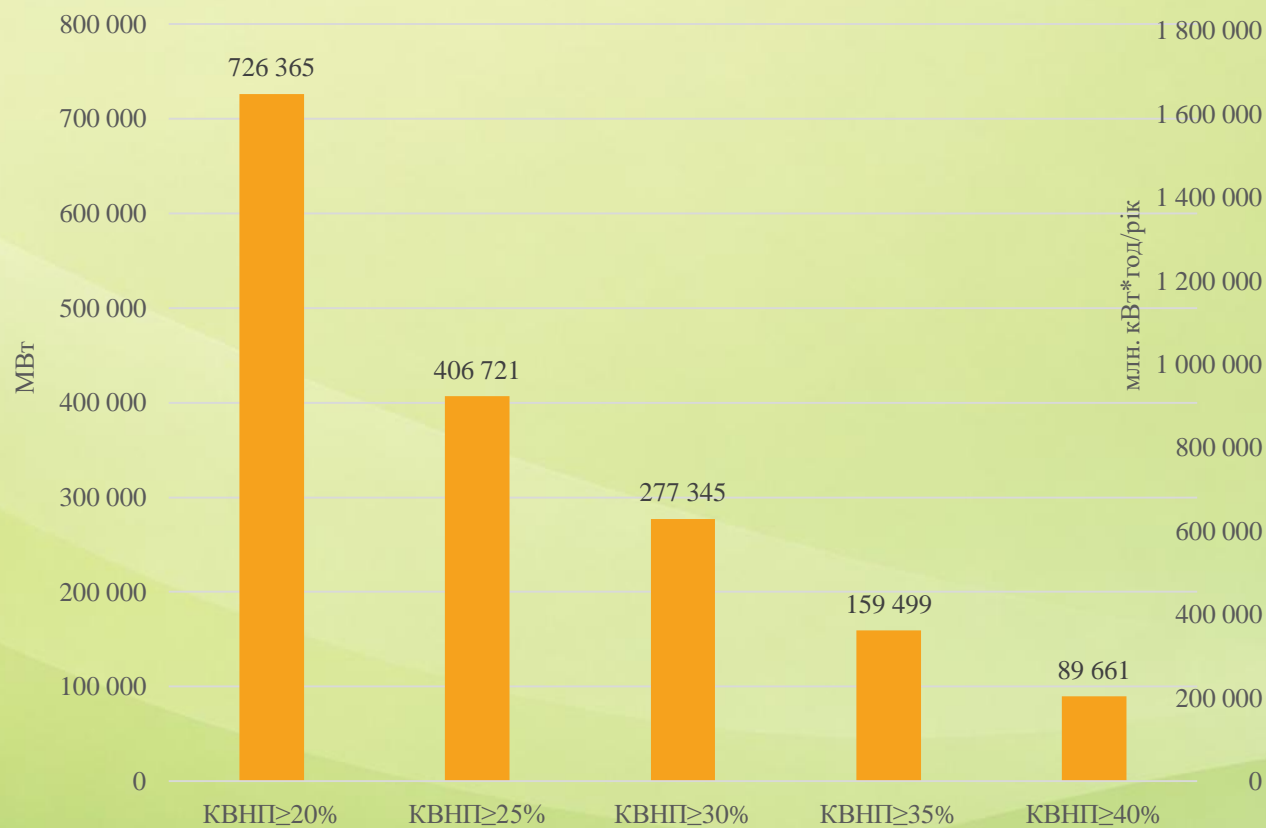
Потенціали доступних площ, встановленої потужності та середньорічного виробітку електричної енергії ВЕС на території України

№	Область	Частка доступних площ при КВНП \geq 0,2, %	Потенціал встановл. потужності ВЕС при КВНП \geq 0,2, МВт	Потенціал виробітку ел.ен. ВЕС при КВНП \geq 0,2, млн кВт·год/рік	Частка доступних площ при КВНП \geq 0,25, %	Потенціал встановленої потужності ВЕС при КВНП \geq 0,25, МВт	Потенціал виробітку ел.ен. ВЕС при КВНП \geq 0,25, млн кВт·год/рік
1	Автономна Республіка Крим	23,0	51 852	115 004	16,3	38 944	91 618
2	Вінницька	13,6	25 687	69 597	10,8	20 410	60 585
3	Волинська	0,5	852	2 400	0,5	852	2 400
4	Дніпропетровська	21,7	49 293	96 352	2,9	6 588	20 472
5	Донецька	28,9	61 705	167 692	19,3	43 575	135 575
6	Житомирська	4,1	8 742	24 377	4,1	8 742	24 377
7	Закарпатська	0,7	812	2 762	0,7	812	2 762
8	Запорізька	43,5	88 295	172 634	13,5	30 210	68 341
9	Івано-Франківська	1,9	2 305	4 182	0,2	279	808
10	Київська	6,1	12 574	31 565	6,1	12 574	31 565
11	Кіровоградська	20,5	35 824	85 444	15,1	26 480	70 196
12	Луганська	6,0	11 353	25 417	6,0	11 353	25 417
13	Львівська	0,2	469	986	0,1	118	401
14	Миколаївська	36,3	68 600	149 416	21,9	41 928	105 440
15	Одеська	24,9	67 681	125 651	7,6	22 620	50 364
16	Полтавська	22,2	45 373	77 815	1,2	2 363	4 890
17	Рівненська	1,1	1 991	5 591	1,1	1 991	5 591
18	Сумська	1,6	2 764	4 696	0,0	0	0
19	Тернопільська	15,9	19 567	54 030	15,5	18 991	53 070
20	Харківська	24,5	54 801	115 789	10,8	24 207	60 710
21	Херсонська	33,6	70 760	171 113	30,7	64 820	160 655
22	Хмельницька	8,4	15 379	34 148	8,4	15 379	34 148
23	Черкаська	10,6	15 813	31 498	7,2	10 762	23 581
24	Чернівецька	4,0	2 882	7 931	3,8	2 713	7 649
25	Чернігівська	4,9	10 990	18 658	0,0	9	19
	Загалом		726 365	1 594 749		406 721	1 040 634
	Середній відсоток	14,4			8,2		
	ВМЕЗ (S1-S9)	21,0	105 256	206 989	18,2	91 676	183 685
	Разом		831 621	1 801 738		498 397	1 224 319

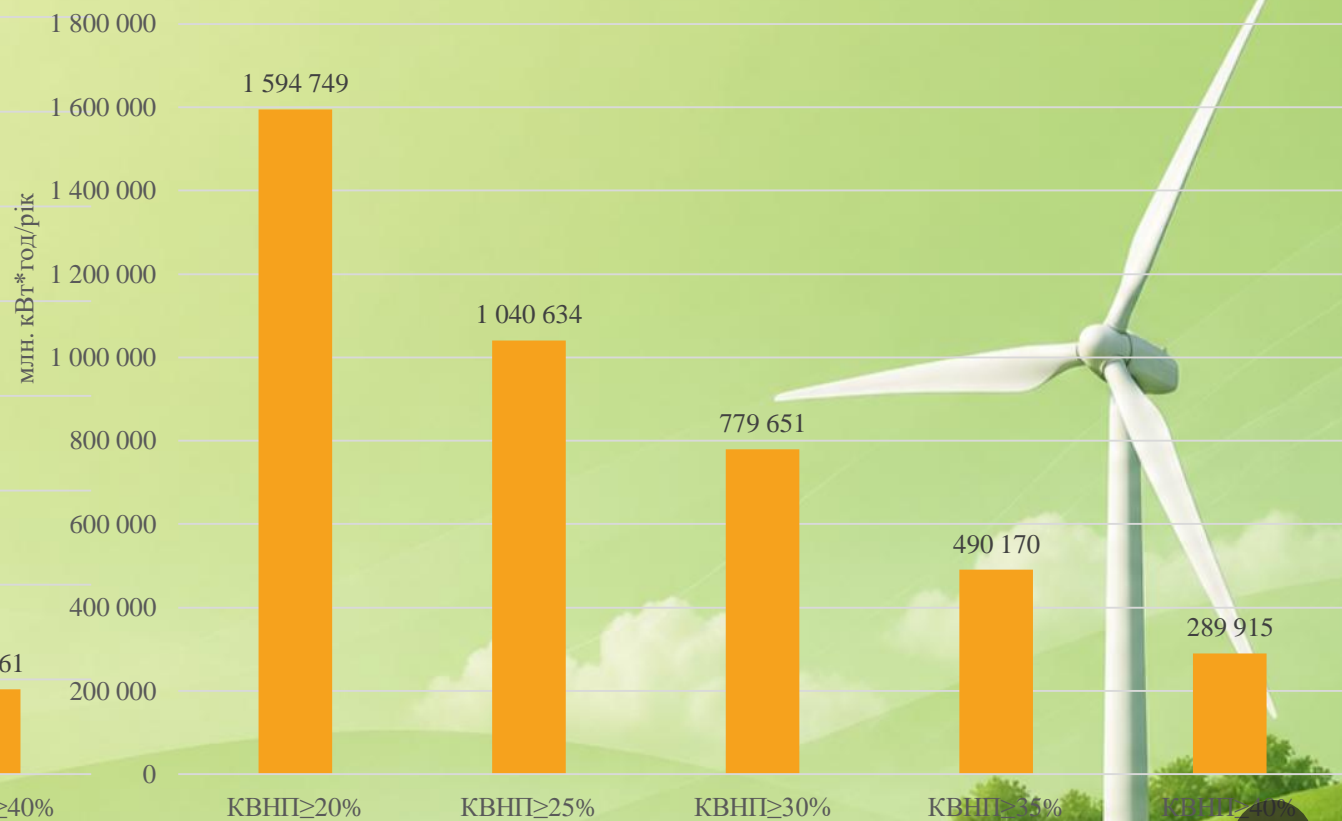
Технічний потенціал

КВНП $\geq 0,2$; $0,25$; $0,3$; $0,35$; $0,4$

Залежність потенціалу встановленої потужності території України від порогового значення КВНП



Залежність потенціалу середньорічного виробітку електричної енергії ВЕС території України від порогового значення КВНП



Висновки

Удосконалено математичну модель і розроблено адаптивний метод оцінки потенціалу встановленої потужності та середньорічного виробітку ВЕС для суходолу та акваторії України шляхом застосування діаграми Вороного для екстраполяції даних швидкості вітру. Проведено кількісну оцінку технічного потенціалу вітроенергетичних ресурсів території та акваторії України з застосуванням порогового значення КВНП в діапазоні від 0,2 до 0,4. Технічний потенціал встановленої потужності при пороговому значення КВНП \geq 0,2 становить близько 832 ГВт. Потенціал середньорічного виробітку електроенергії – майже 1 802 млрд. кВт·год. Технічний потенціал встановленої потужності при пороговому значення КВНП \geq 0,4 становить близько 90 ГВт. Потенціал середньорічного виробітку електроенергії – 290 млрд. кВт·год.

Отримані результати свідчать про визначальний вплив порогового значення КВНП на результати оцінки технічного потенціалу встановленої потужності та середньорічного виробітку електричної енергії ВЕС території. Показано, що вибір значення даного критерію безпосередньо впливає на величину оціненого потенціалу та перелік територій, що вважаються придатними для розміщення ВЕС. Це підтверджує необхідність обґрунтованого та прозорого визначення порогового значення КВНП ВЕС при оцінюванні технічного потенціалу, оскільки його вибір суттєво впливає на результати енергетичного планування, інвестиційну привабливість проєктів та стратегічні рішення щодо розвитку вітроенергетики.

ДЯКУЮ ЗА УВАГУ!

