
*Problematyka farm wiatrowych na Morzu
Bałtyckim – kable w części lądowej*

**XXX Konferencja Szkoleniowo-Techniczna
KABEL 2025
Przemysław Krawczykowski –
Technolog ds. Systemów WN**

Brighter Future
in Energy

TFK.group



Zagadnienia

- 1 Wstęp
- 2 Obecna sytuacja oraz plany na przyszłość
- 3 Temperatura pracy kabli
- 4 Humus oraz termiczna rezystywność gruntu
- 5 Profil obciążenia
- 6 Krzyżowanie ze źródłami ciepła
- 7 Nierówność sekcji
- 8 Logistyka
- 9 Podsumowanie

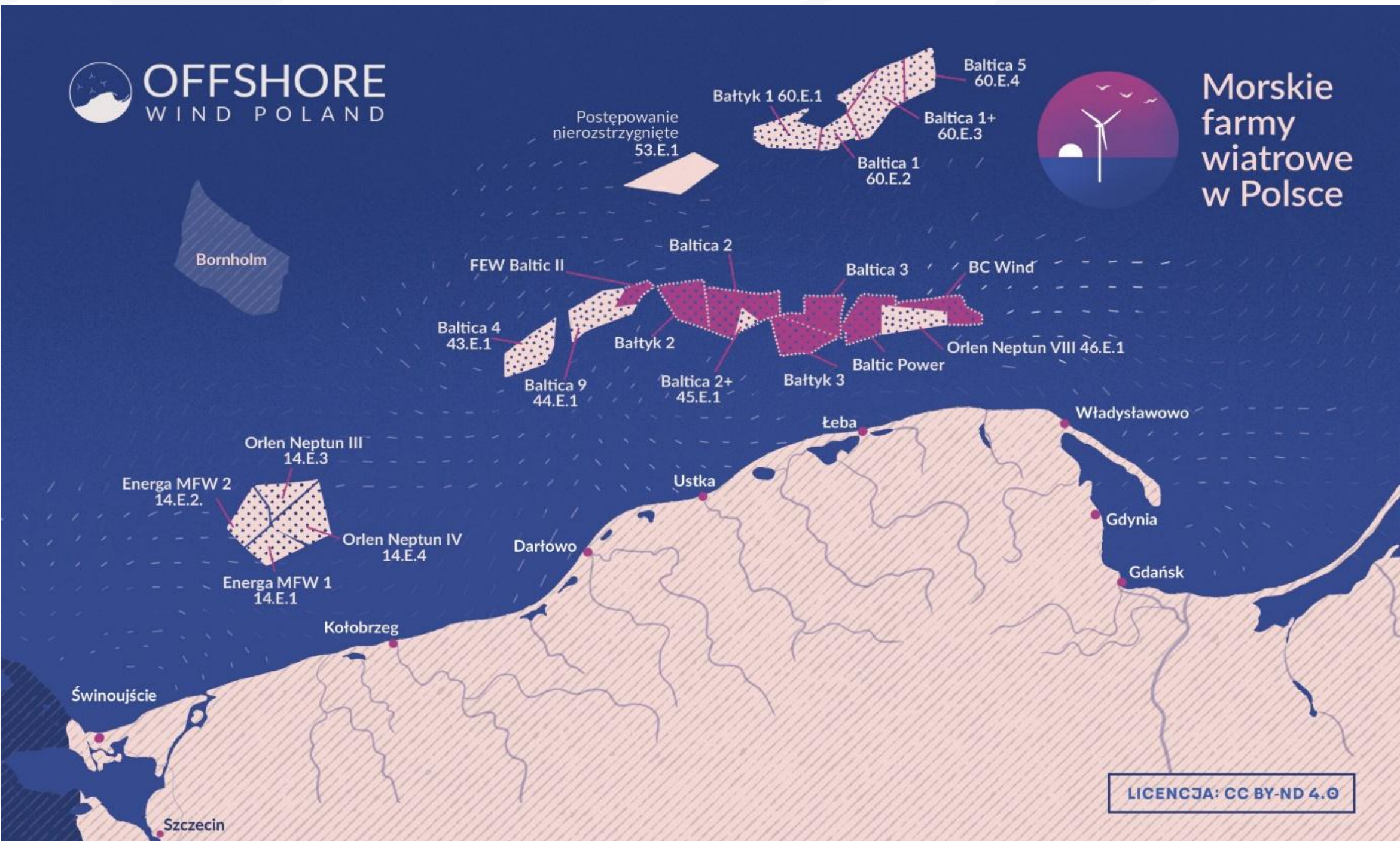
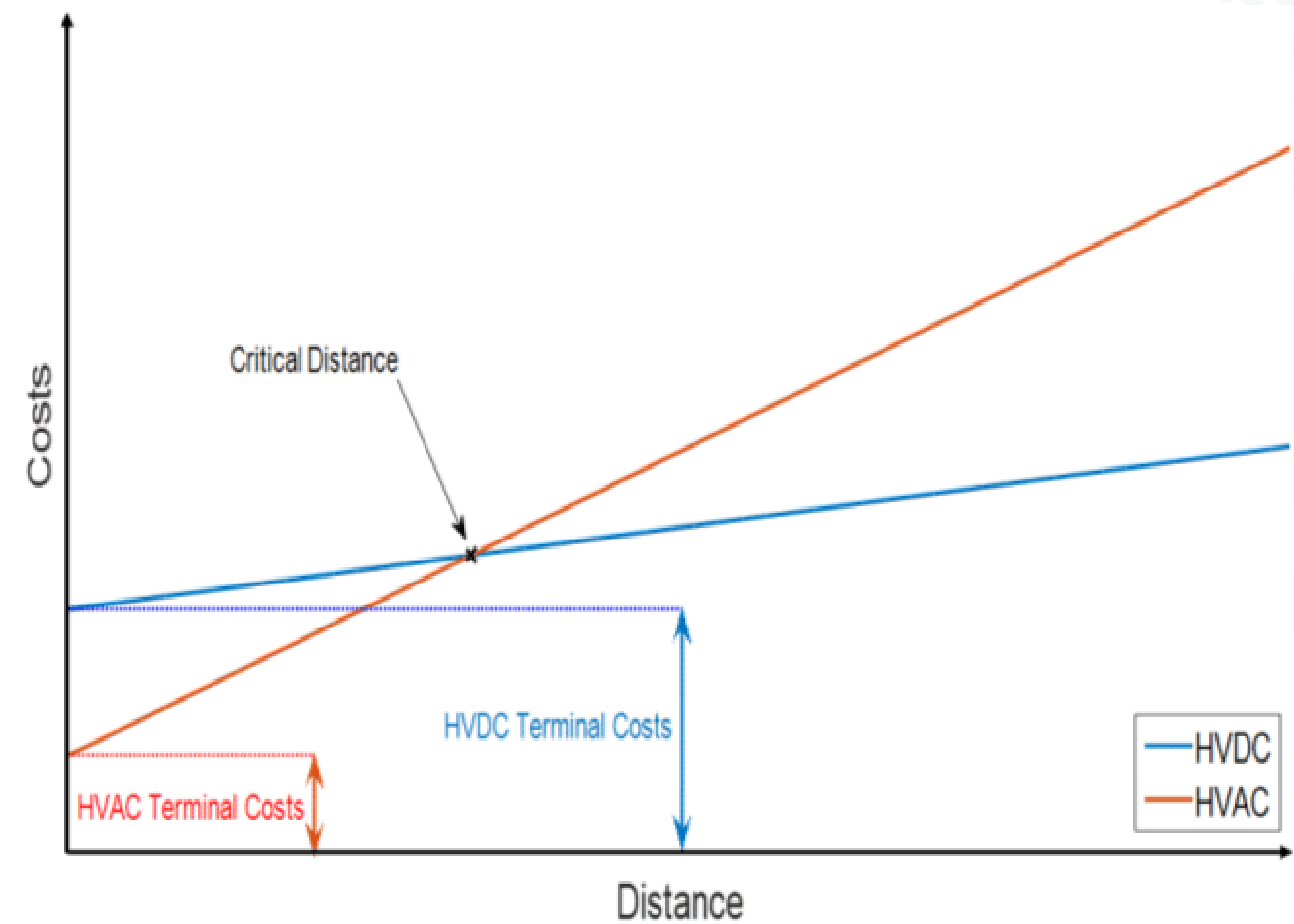
Wstęp

- ❖ Faza I (obecne prace)
- ❖ Faza II (plany na przyszłość)
- ❖ Potencjał MEW Bałtyku – 93 GW do 20250 r.
- ❖ Około 28 GW w Polsce



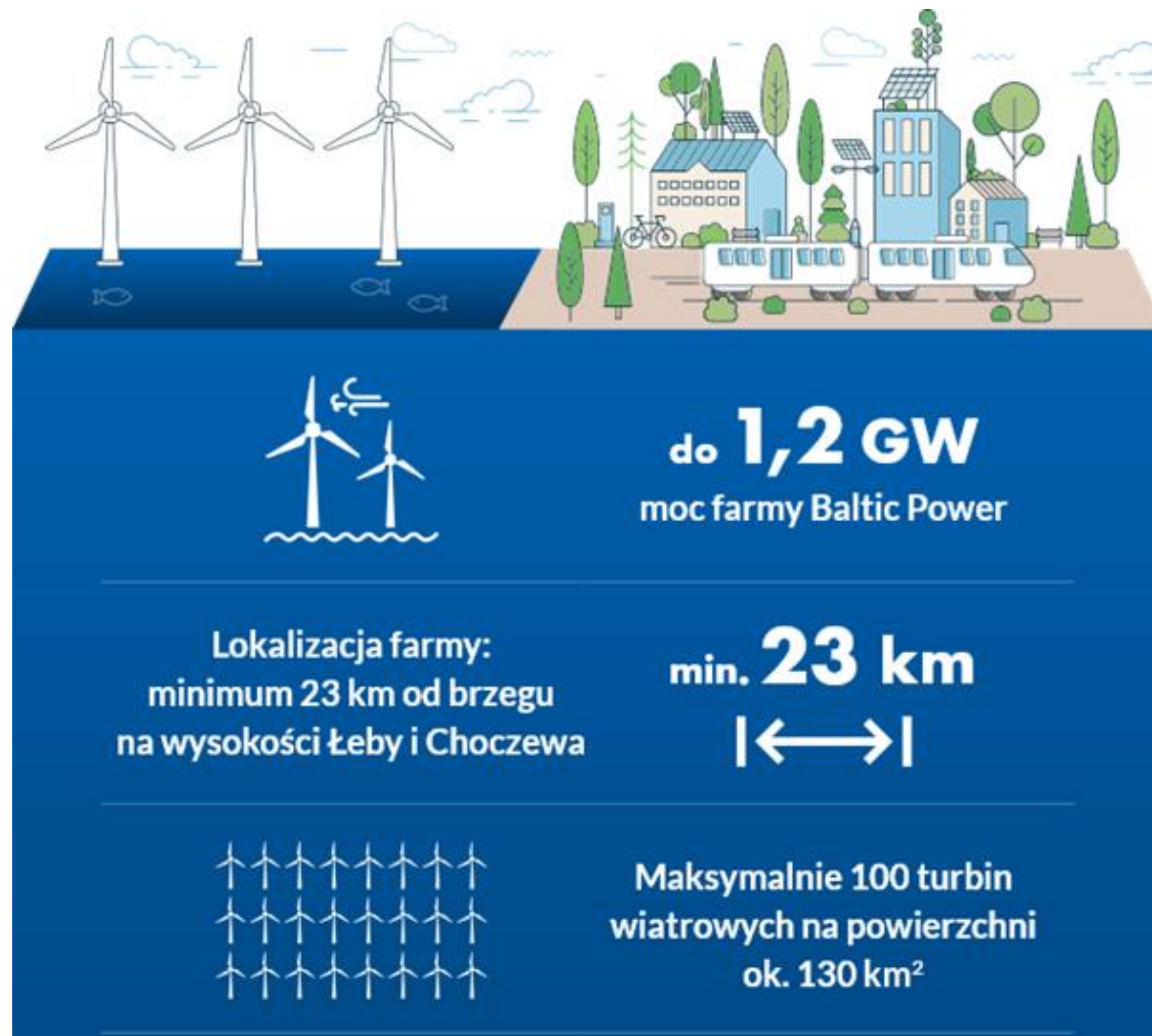
Wstęp

HV AC czy HV DC?



Obecna sytuacja oraz plany na przyszłość

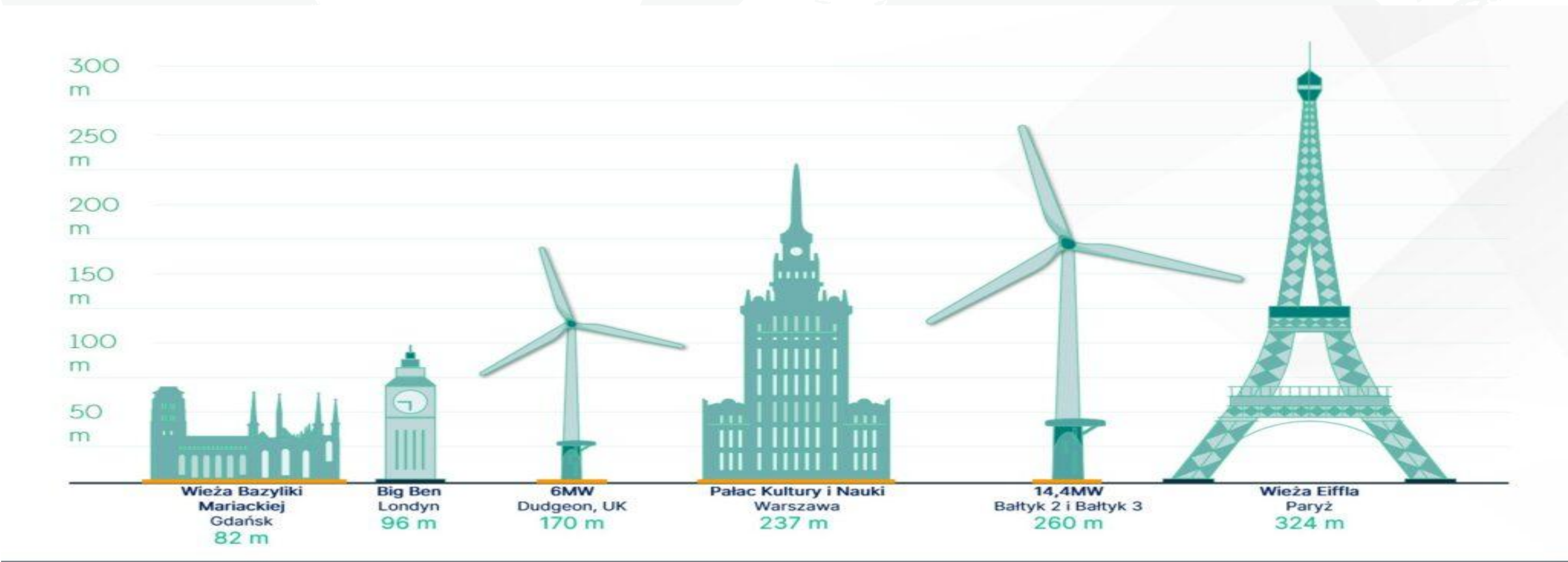
❖ Baltic Power



Obecna sytuacja oraz plany na przyszłość

- ❖ Bałtyk II oraz Bałtyk III
- ❖ Około 100 turbin o mocy
- ❖ >14 MW każda z turbin

Nazwa projektu	MFW Bałtyk 1	MFW Bałtyk 2	MFW Bałtyk 3
Moc farmy wiatrowej [MW]	do 1560	720	720
Odległość od brzegu [km]	80	37	22
Powierzchnia całkowita obszaru [km ²]	128,53	122	119,52
Głębokość morza [m]	25-35	23-41	25-39
Średnia prędkość wiatru [m/s]	9-10	9-10	9-10



Obecna sytuacja oraz plany na przyszłość

❖ Baltica 2 oraz Baltica 3

Baltica 2



Moc: **ok. 1,5 GW**



Odległość
od lądu: **ok. 40 km**



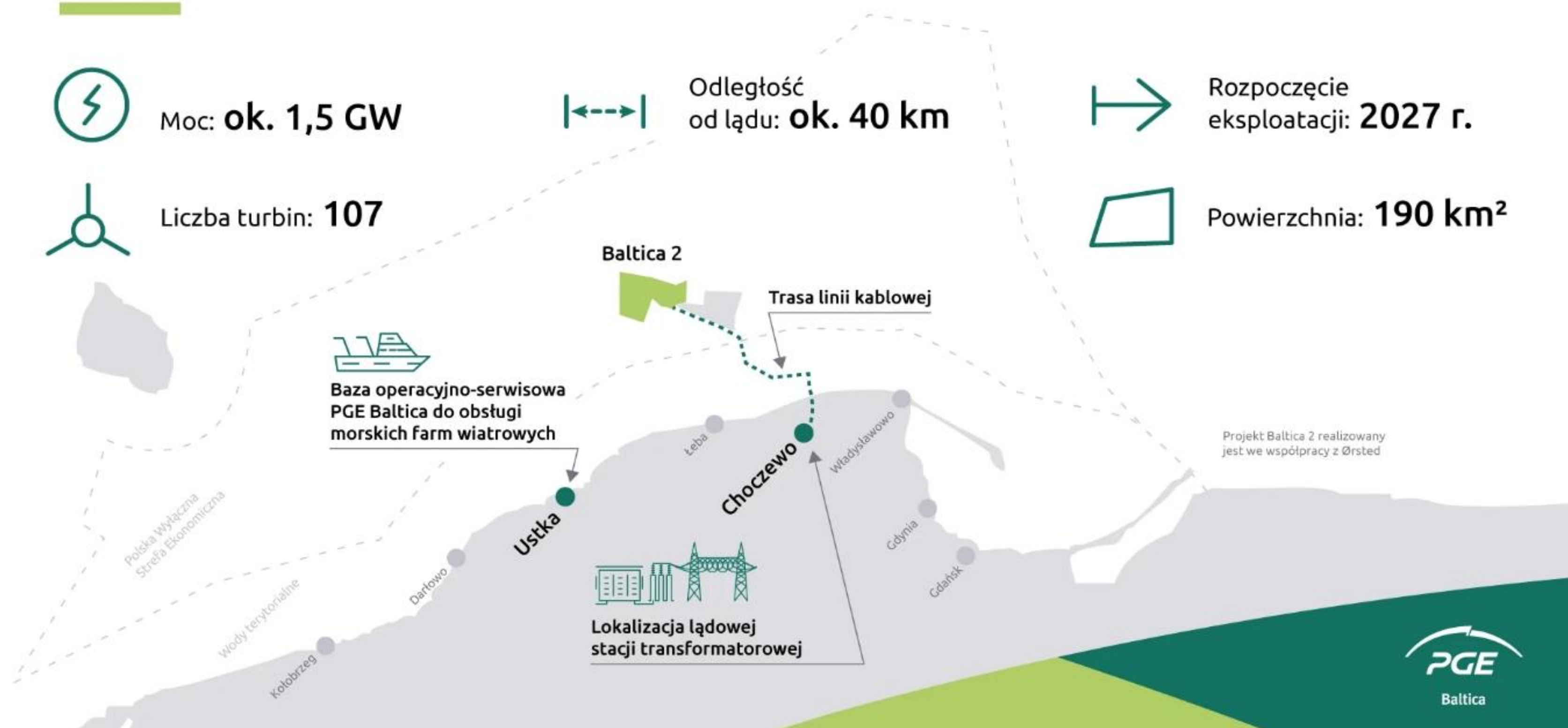
Rozpoczęcie
eksploatacji: **2027 r.**



Liczba turbin: **107**



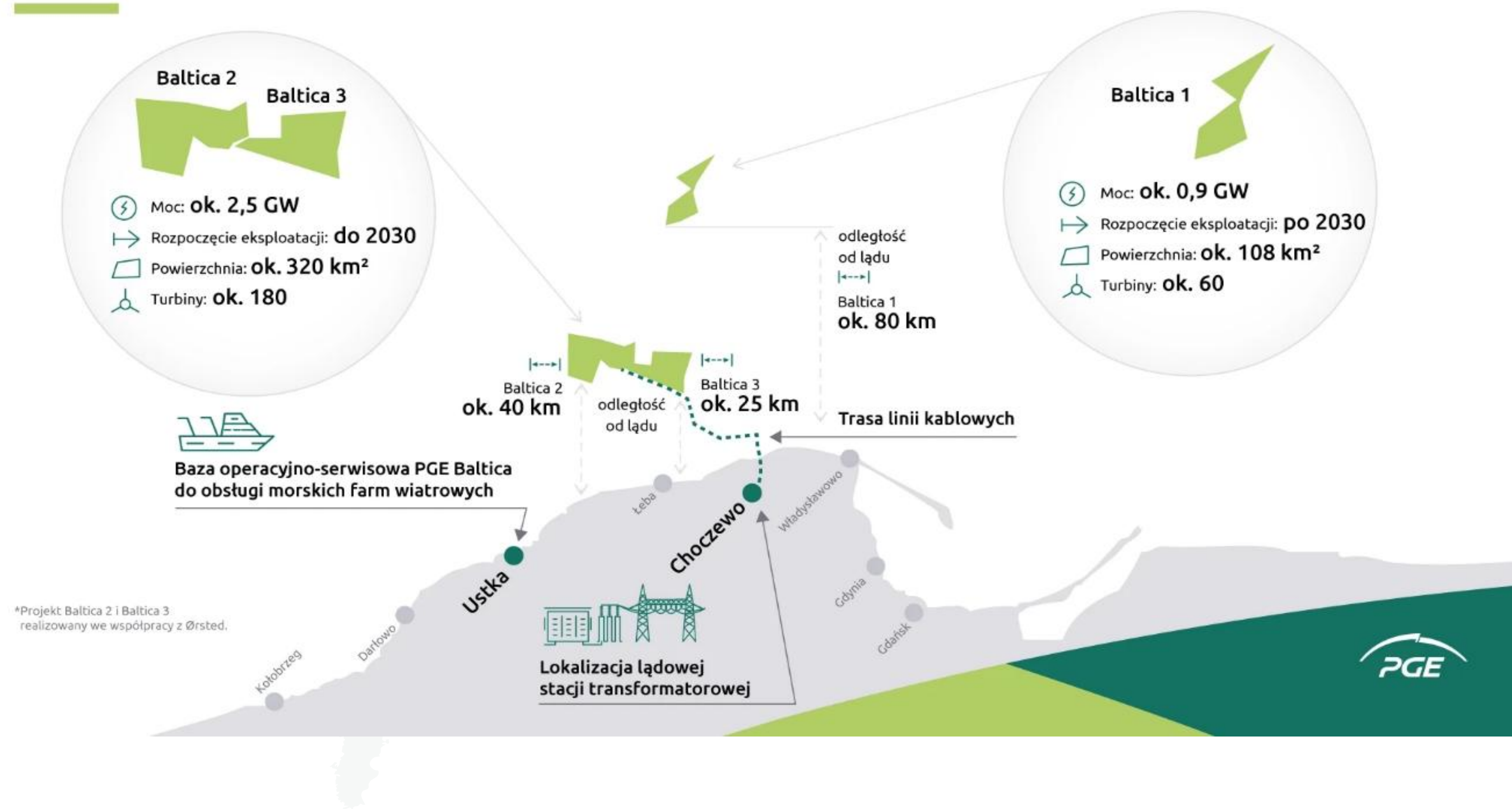
Powierzchnia: **190 km²**



Obecna sytuacja oraz plany na przyszłość

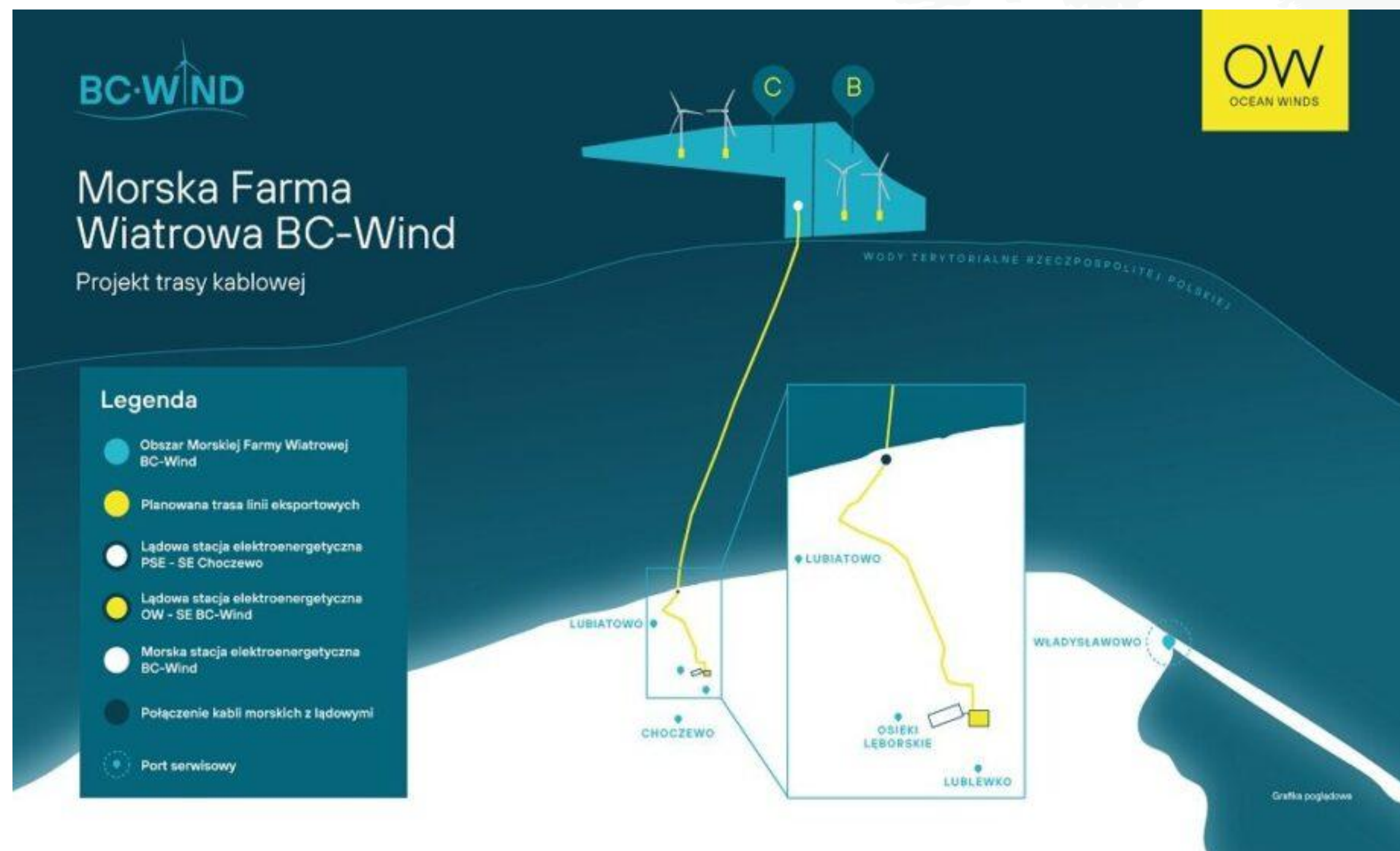
❖ Baltica 2 oraz Baltica 3

Projekty offshore Grupy PGE w trakcie realizacji



Obecna sytuacja oraz plany na przyszłość

❖ BC-Wind



do 500 MW

moc



23 km

od linii brzegowej, na północ od gmin Krokowa i Choczewo



90,94 km²

powierzchnia (z PSZW)



od 13 MW

moc turbiny – wariant podstawowy



do 34

liczba turbin – wariant podstawowy



czerwiec 2021

prawo do kontraktu różnicowego (CfD)



około 828 000

gospodarstw domowych lub przedsiębiorstw zasilanych energią elektryczną rocznie

Obecna sytuacja oraz plany na przyszłość

❖ Baltic II



350 MW

Planowana moc

41 km²

Powierzchnia

55 km

Odległość od brzegu

Monopal

Koncepcja fundamentu

42 m

Głębokość wody (średnia)

W pobliżu Ustki

Punkt wyjściowy sieci

W pobliżu Słupska

Punkt przyłączenia sieci

CfD

Schemat wsparcia

100 % RWE

Właściciel

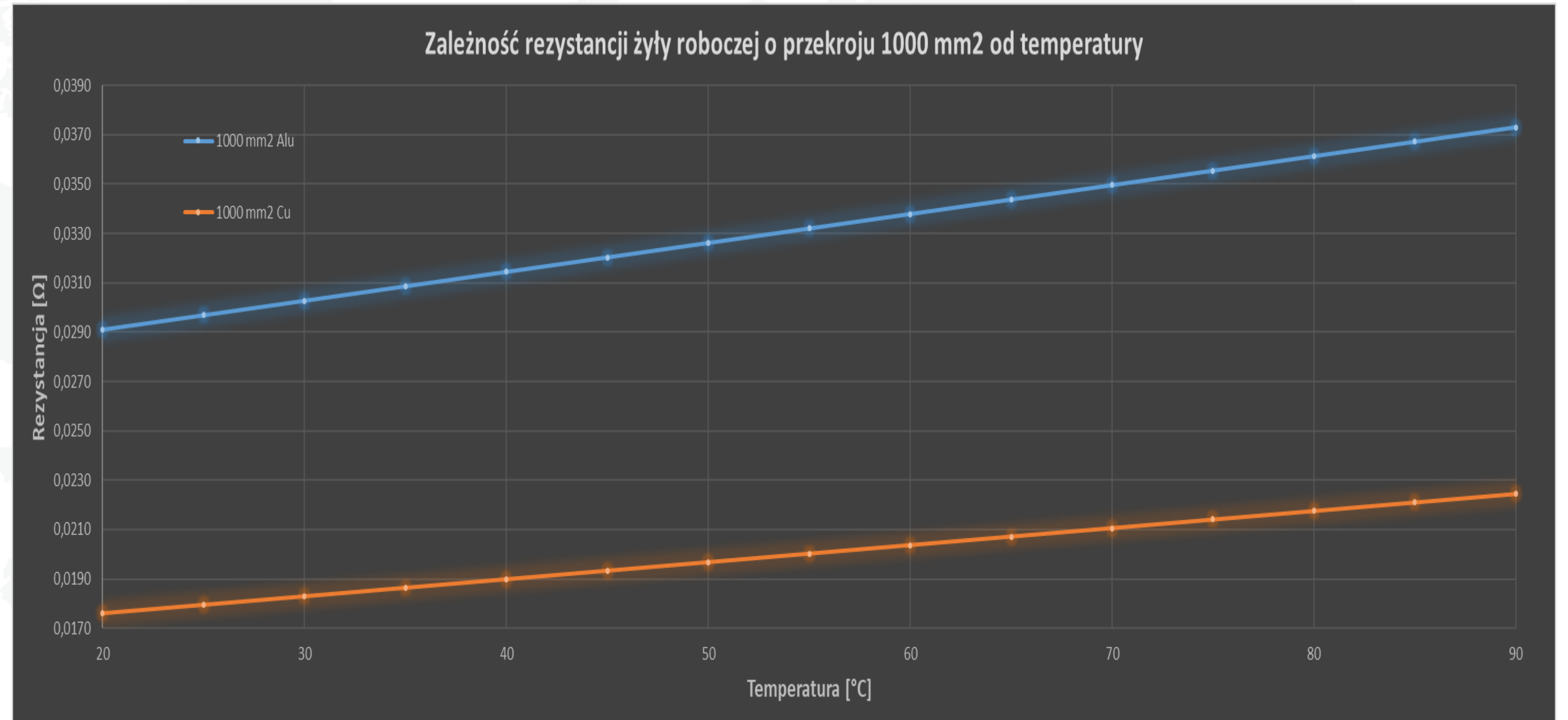
Temperatura pracy kabli

- ❖ Temperatura pracy kabli rzutuje na obciążalność prądową
- ❖ Jest ściśle związana z rezystancją, czyli stratami
- ❖ System DTS dyktowany przez rozporządzenie Ministra Klimatu i Środowiska z 25 maja 2022 r.
- ❖ Maksymalnie 2 przekroje w części lądowej
- ❖ Rezystancja aluminium jest bardziej zależna od temperatury niż w przypadku miedzi

$$R' = R_0 [1 + \alpha_{20} (\theta - 20K)]$$

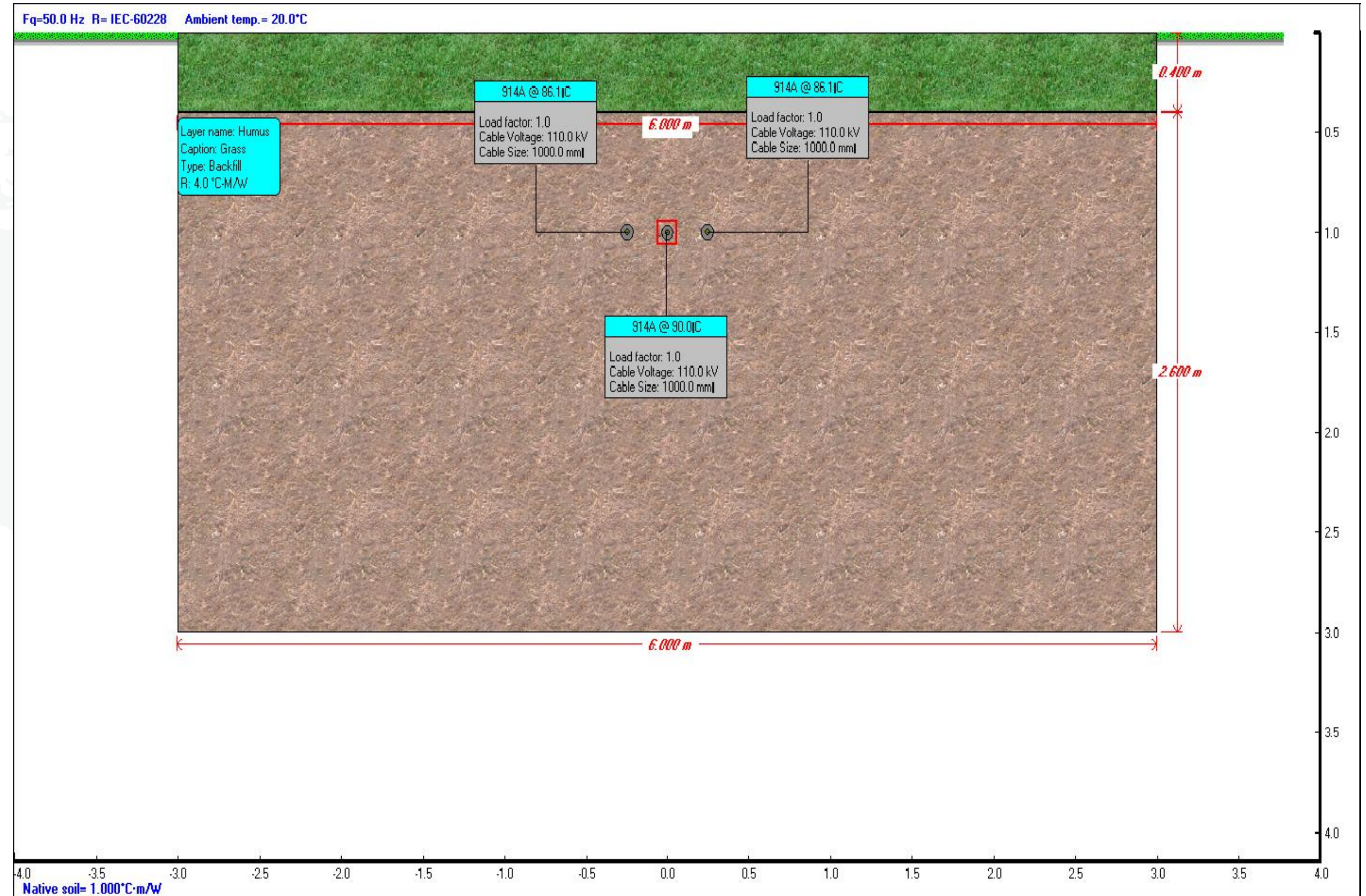
α_{20} dla aluminium równa się 0,00403

α_{20} dla miedzi równa się 0,00393

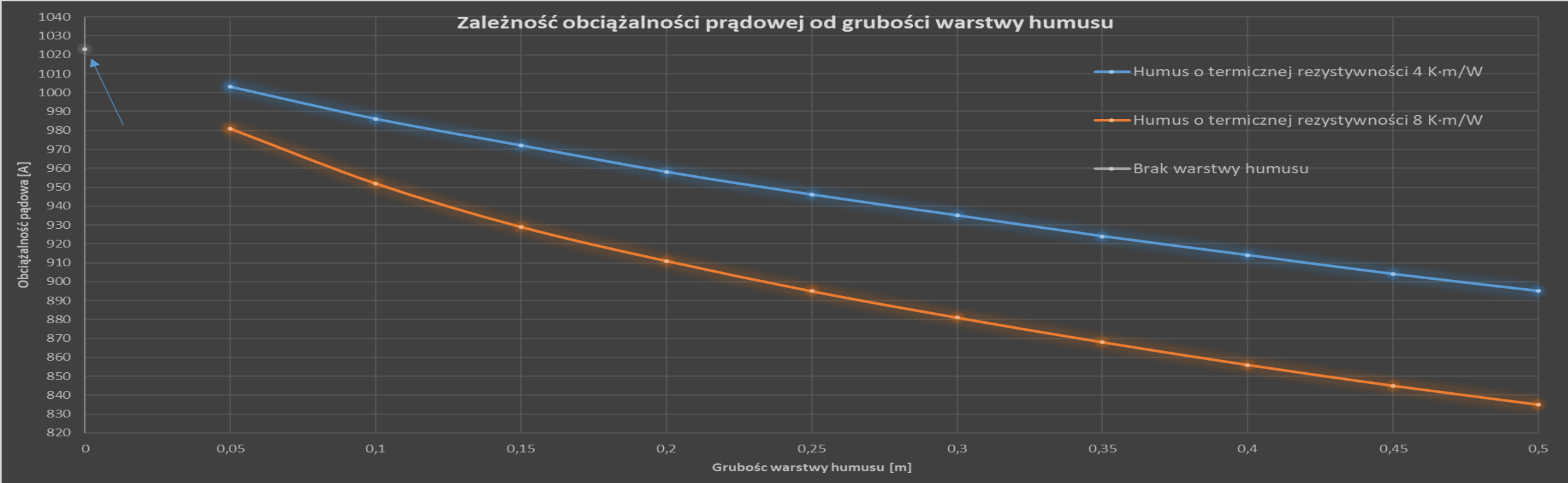


Humus oraz termiczna rezystywność gruntu

- ❖ Badania gruntu na całej długości trasy
- ❖ Standard w Polsce to 1 K·m/W
- ❖ Zgodnie z broszurą CIGRE TB 714 dla materiałów organicznych należy przyjąć 4 K·m/W
- ❖ Duża zawartość powietrza, przykład styropianu



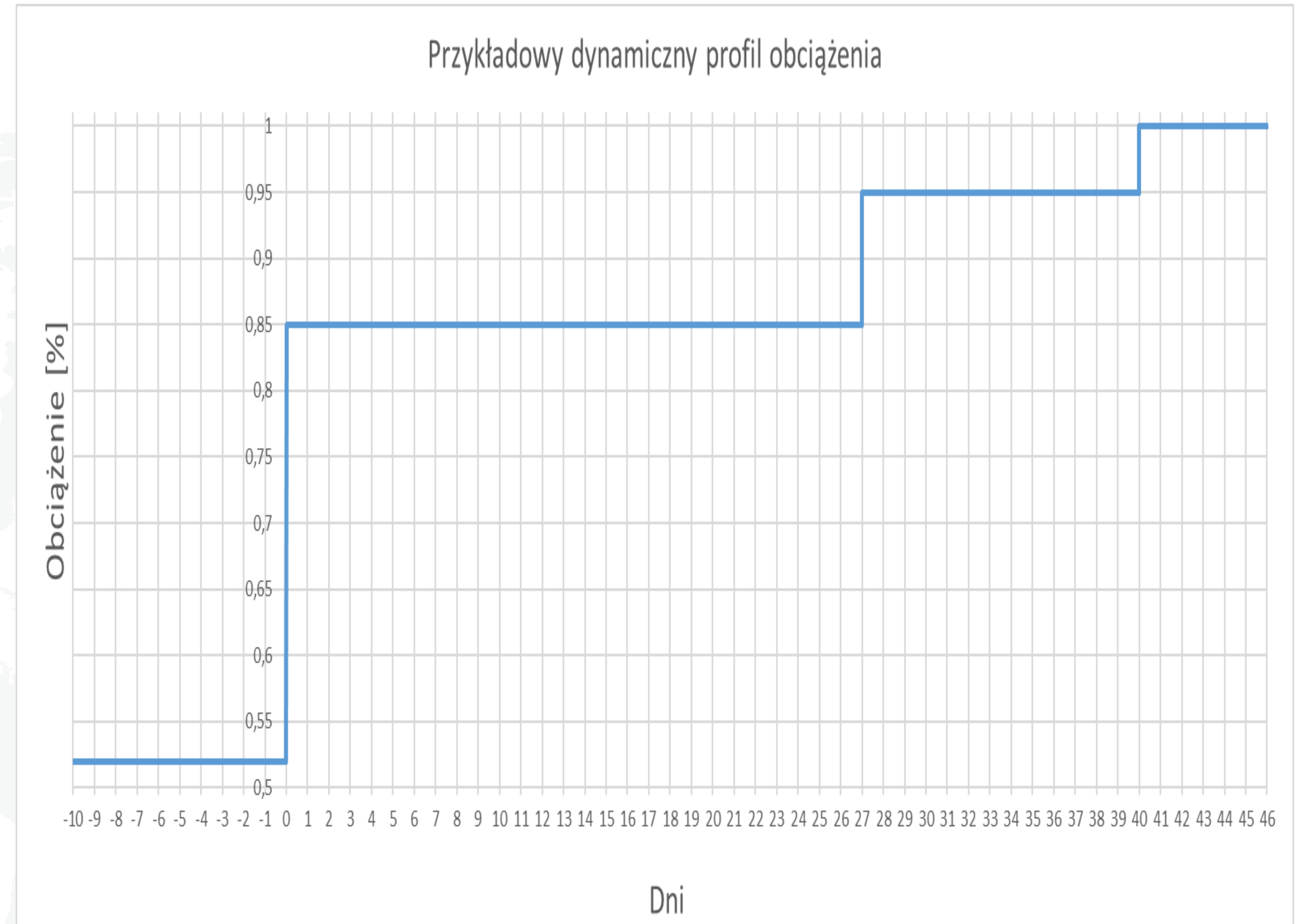
Humus oraz termiczna rezystywność gruntu



Brak warstwy humusu	1023 A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Humus o termicznej rezystywności 8 K·m/W	-	981 A	952 A	929 A	911 A	895 A	881 A	868 A	856 A	845 A	835 A
Humus o termicznej rezystywności 4 K·m/W	-	1003 A	986 A	972 A	958 A	946 A	935 A	924 A	914 A	904 A	895 A
Grubość warstwy humusu [m]	0	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5

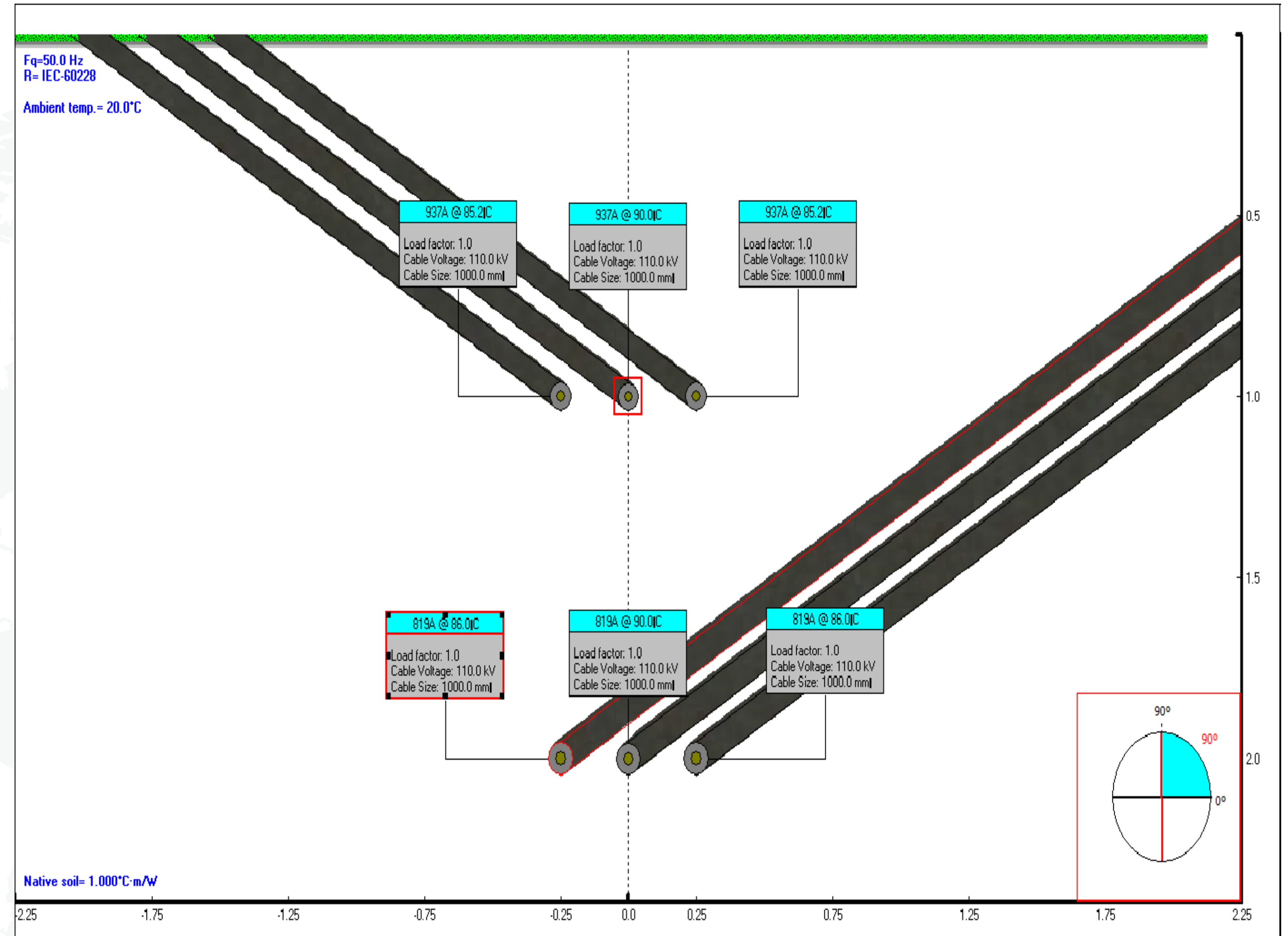
Profil obciążenia

- ❖ Dla farm wiatrowych tworzy się dynamiczne profile obciążenia
- ❖ Inwestorzy wymagają również obliczeń dla 100 % obciążenia
- ❖ Poprzedzone to jest długotrwałymi badaniami wiatru
- ❖ Wytyczne do tworzenia profilu dynamicznego można znaleźć w broszurze CIGRE TB 610 WG B.40
- ❖ Należy również wziąć pod uwagę krzywą mocy turbiny

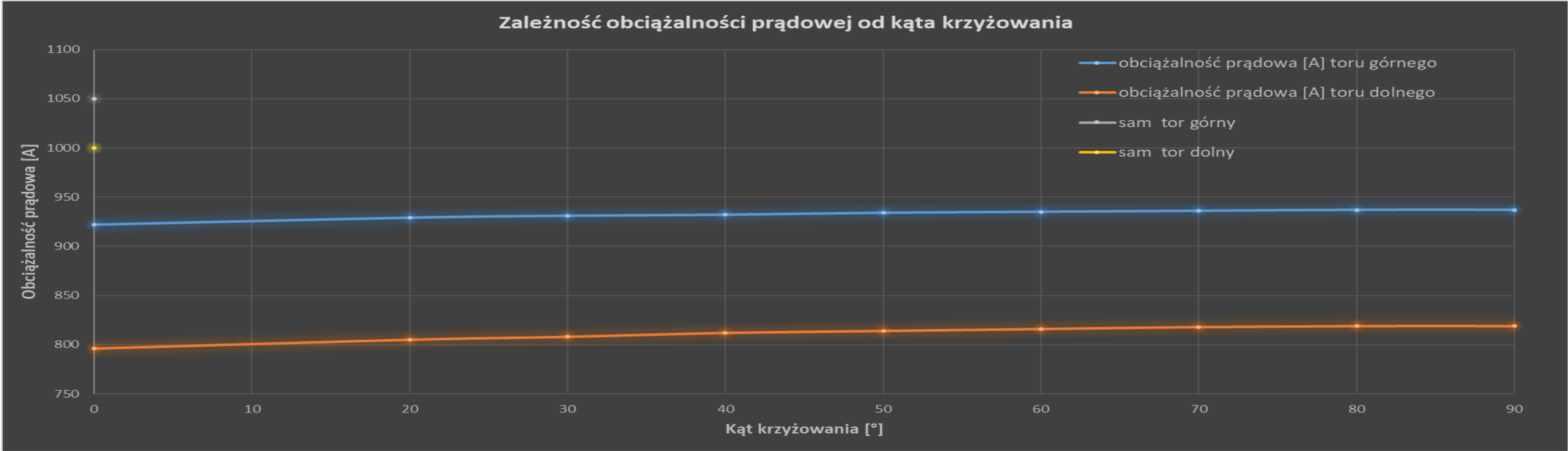


Krzyżowanie ze źródłami ciepła

- ❖ Na trasie linii kablowej można natrafić na wiele przeszkód, które należy wziąć pod uwagę podczas doboru kabli
- ❖ Przeszkodami takimi są np. istniejące już linie kablowe, bądź rurociągi z ciepłą wodą
- ❖ Elementy te podnoszą temperaturę gruntu, a w konsekwencji obniżają obciążalność prądową linii
- ❖ Najmniej inwazyjne jest krzyżowanie pod kątem 90°



Krzyżowanie ze źródłami ciepła



	równoległe								prostopadłe
kąt krzyżowania °	0	20	30	40	50	60	70	80	90
obciążalność prądowa [A] toru górnego	922	929	931	932	934	935	936	937	937
obciążalność prądowa [A] toru dolnego	796	805	808	812	814	816	818	819	819
sam tor górny	1050								
sam tor dolny	1000								

Nierówność sekcji

- ❖ Ze względu na długość trasy, jedynym sensownym uziemieniem ekranów metalicznych jest cross-bonding
- ❖ Zgodnie z normą IEC 60287-1-1, gdy nieznane są długości podsekcji, należy przyjąć:

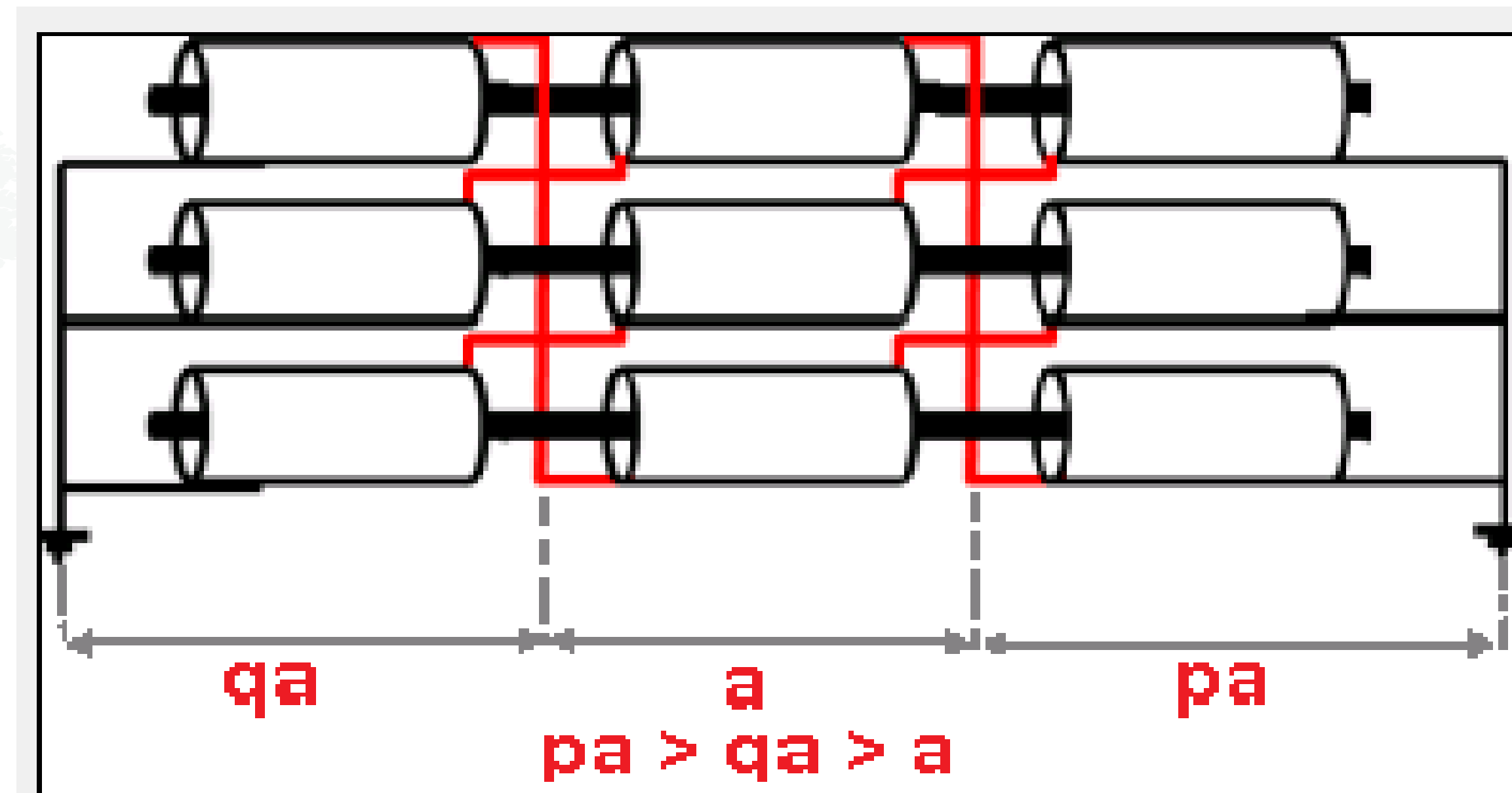
$$C_p = 1$$

$$C_q = 1,2$$

Daje to współczynnik nierówności równy 0,004 zgonie ze wzorem:

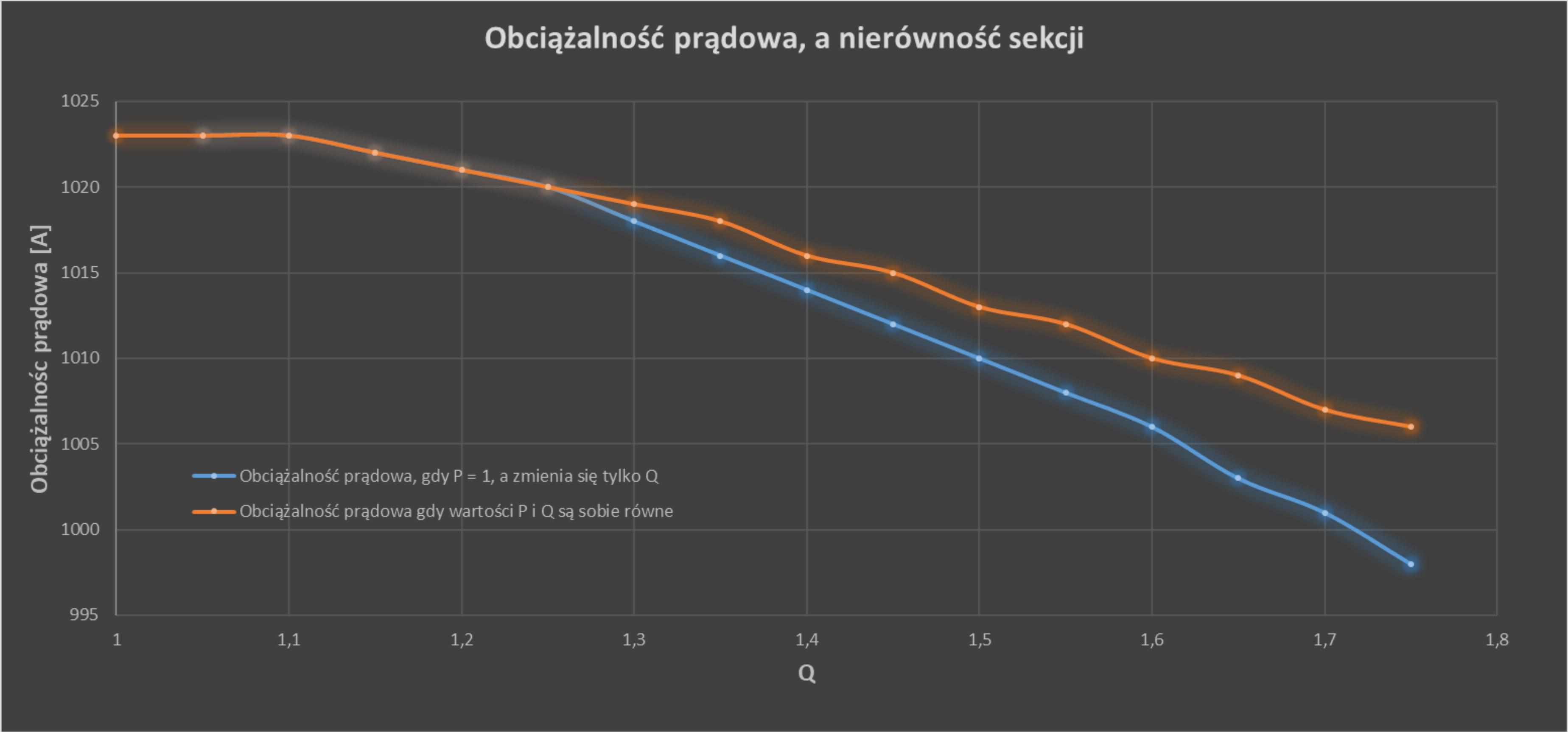
$$\frac{C_p^2 + C_q^2 + 1 - C_p - C_p C_q - C_q}{(C_p + C_q + 1)^2}$$

- ❖ Im większa nierówność sekcji, tym większe wartości prądów „wyrównujących”, co skutkuje większymi stratami
- ❖ Jeśli znamy długości poszczególnych podsekcji, to należy je uwzględnić w obliczeniach obciążalności prądowej



prądy wyrównawcze w poszczególnych fazach [A]			współczynniki nierówności
145,01	110,64	123,50	P=1, Q=1,7
49,52	37,77	42,15	P=1, Q=1,2
0	0	0	P=1, Q=1

Nierówność sekcji



Obciążalność prądowa [A]	1021	1023	1023	1022	1021	1020	1018	1016	1014	1012	1010	1008	1006	1003	1001	998
P	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Q	1,2	1,05	1,1	1,15	1,2	1,25	1,3	1,35	1,4	1,45	1,5	1,55	1,6	1,65	1,7	1,75
Nierówność	0,004	0,000	0,001	0,002	0,004	0,006	0,008	0,011	0,014	0,017	0,020	0,024	0,028	0,032	0,036	0,040

Obciążalność prądowa [A]	1023	1023	1023	1022	1021	1020	1019	1018	1016	1015	1013	1012	1010	1009	1007	1006
P	1	1,05	1,1	1,15	1,2	1,25	1,3	1,35	1,4	1,45	1,5	1,55	1,6	1,65	1,7	1,75
Q	1	1,05	1,1	1,15	1,2	1,25	1,3	1,35	1,4	1,45	1,5	1,55	1,6	1,65	1,7	1,75
Nierówność	0,000	0,000	0,001	0,002	0,003	0,005	0,007	0,009	0,011	0,013	0,016	0,018	0,020	0,023	0,025	0,028

Logistyka

- ❖ **Ogromne wyzwanie logistyczne**
- ❖ **Duże ilości kabli**
- ❖ **Praktycznie jeden bęben oznacza jedną ciężarówkę**
- ❖ **Wymagane wzmocnione drogi na terenie budowy**
- ❖ **Waga przykładowego kabla 2000 mm² Alu 400 kV to około 20 kg/m!**
- ❖ **Długie odcinki/przewierty sprawiają, że ciężar kabla z bębnem jest znaczny**
- ❖ **Wymusiło to modernizację parku maszynowego oraz zwiększenie nośności, tak, że finalny produkt może ważyć do 100 t**
- ❖ **Zainwestowano w projekt „wieża”, dzięki któremu powstaną dwie nowe linie izolacyjne. Pozwoli to nadążyć z produkcją kabli pod projekty przewidziane w przyszłości**
- ❖ **Nierzadko stosuje się specjalne bębny dedykowane pod dany przekrój, a także tzw. „jamniki”**

- ❖ Opracowanie innowacyjnych kabli wysokich napięć dedykowanych dla farm wiatrowych wykorzystujących barierowy efekt hybrydowych modyfikatorów poprawiających odporność na zjawisko drzewienia wodnego izolacji





Podsumowanie

- ❖ Ze względu na swoją złożoność pod kątem projektowym, farmy wiatrowe stanowią wyzwanie.
- ❖ Zanim dobrany zostanie odpowiedni przekrój kabli, dużo czasu zostaje poświęcone na badania środowiska oraz liczne, złożone obliczenia
- ❖ Obliczenia te dotyczą nie tylko obciążalności prądowej, ale także prądów zwarciovych, napięć indukowanych, parametrów zależnych od częstotliwości i wiele innych
- ❖ W ostatnim czasie morskie farmy wiatrowe mocno się rozwinęły i już niedługo będziemy mogli cieszyć się płynącą z nich zieloną energią
- ❖ W chwili obecnej równolegle prowadzonych jest kilka projektów, a w przyszłości będzie ich jeszcze więcej

Dziękuję za uwagę

→ **Przemysław Krawczykowski**
Technolog ds. Systemów WN
przemyslaw.krawczykowski@tfkable.com
tel. +48 505 497 137
