

Wyzwania związane z przyłączeniem morskich farm wiatrowych

Challenges related to offshore wind farms connection to the Polish TSO

Jacek Dołowy, Mateusz Mendowicz

Słowa kluczowe: morskie farmy wiatrowe, wyprowadzenie mocy z MFW, ustawa, Rozporządzenie Ministra Klimatu i Środowiska, odnawialne źródła energii, dostępność operacyjna, dostępność projektowa

Artykuł dotyczy wymagań technicznych i prawnych stawianych układom wyprowadzenia mocy z morskich farm wiatrowych. Zawarte zostały w niej również opisy kluczowych inwestycji realizowanych przez Polskie Sieci Elektroenergetyczne w celu rozbudowy północnej infrastruktury sieci przesyłowej umożliwiającej wyprowadzenie mocy z MFW.

Keywords: offshore wind farm, evacuation of power from offshore wind farms, act, Regulation of the Minister of Climate and Environment, Renewable energy sources, operational availability, design availability

The article concerns the technical and legal requirements for evacuation of power from offshore wind farms. It also contains descriptions of key investments implemented by Polskie Sieci Elektroenergetyczne in order to expand the northern infrastructure of the transmission network enabling the evacuation of power from the offshore wind farms.

W ramach Europejskiego Zielonego Ładu państwa członkowskie Unii Europejskiej zadeklarowały się do prowadzenia konkurencyjnej, mniej pochłaniającej zasoby, gospodarki wolnej od gazów cieplarnianych do roku 2050. W ramach tegoż celu Komisja Europejska przyjęła deklarację, aby do roku 2030 zmniejszyć emisję gazów cieplarnianych do co najmniej 40% w odniesieniu do 1990 r., a udział odnawialnych źródeł energii (OZE) w miksie energetycznym kontynentu wynosił 32%, poprawę efektywności energetycznej do 32,5%.

W roku 2021 moc zainstalowana w OZE wzrosła do 31%, jednak jej udział w miksie energetycznym wyniósł tylko 16,7%. Jednym ze strategicznych obszarów dla polskiej energetyki jest wybudowanie morskich farm wiatrowych na obszarze ławicy Słupskiej. Biorąc pod uwagę planowane przyłączenia OZE (fotowoltaika, farmy wiatrowe morskie i lądowe) oraz już istniejące źródła – zainstalowana moc sięgnie 50 GW. Znaczną część tej wartości pokryją wspomniane morskie farmy wiatrowe (MFW), których moc zainstalowana zgodnie z ustawą off-shore ma wynieść 10,9 GW. Aktualnie umowy o przyłączenie do krajowego systemu elektroenergetycznego (KSE) zostały zawarte na 8,4 GW. To szczególny moment, w którym znaczna część generacji energii z południa kraju zostanie przeniesiona na jego północ. Jest to wyzwanie, któremu Polskie Sieci Elektroenergetyczne (PSE) jako operator systemu przesyłowego (OSP) muszą sprostać. Inwestycja ta wymaga wielu nakładów pracy związanej z już istniejącą infrastrukturą, jak i budowę nowej infrastruktury mogącej zwiększyć bezpieczeństwo energetyczne kraju.

RAMY PRAWNE

By określić wymagania projektowe dla przyszłych MFW w życie zostały wprowadzone odpowiednie ustawy i rozporządzenia.

Są to głównie:

- Ustawa z dnia 17 grudnia 2020 r. o promowaniu wytwarzania energii elektrycznej w morskich farmach wiatrowych – w tym dokumencie zawarte zostały m.in. informacje o zasadach ubiegania się pokrycia ujemnego salda przez wytwórcę, jak i zasady przyznawania praw do pokrycia ujemnego salda. W ustawie znajdują się również informacje dotyczące udziału w aukcjach przez morskie farmy wiatrowe oraz ogólne przepisy o przyłączeniu MFW do sieci i wyprowadzeniu mocy, a także zapisy dotyczące postępowania administracyjnego przy procesach inwestorskich MFW.
- Rozporządzenie Ministra Klimatu i Środowiska z 25 maja 2022 r. w sprawie szczegółowych wymagań dla elementów zespołu urządzeń służących do wyprowadzenia mocy oraz dla elementów stacji elektroenergetycznych zlokalizowanych na morzu – rozporządzenie to realizuje delegację ww. ustawy w zakresie doszczegółowienia wymagań technicznych dla układu wyprowadzenia mocy z MFW. Dokument zawiera więc szczegółowe wymagania dotyczące zespołu urządzeń służących do wyprowadzenia mocy, minimalnego operacyjnego czasu pracy tychże urządzeń oraz jego minimalnej dostępności wraz z zasadami jej wyznaczania i maksymalnej utraty mocy. W rozporządzeniu zawarte zostały również wymagania dotyczące stacji elektro-

| Mgr inż. Jacek Dołowy (jacek.dolowy@pse.pl), mgr inż. Mateusz Mendowicz – Polskie Sieci Elektroenergetyczne S.A., Konstancin-Jeziorna

energetycznych, w tym wymagania budowlane, wymagania dotyczące kablowej linii eksportowej do wyprowadzenia mocy zarówno w odcinku morskim, jak i lądowym. Istotna część dokumentu poświęcona jest wymaganiom stawianym obwodom wtórnym i współpracującym z nimi urządzeniom/układom, wymaganiom dla systemów i układów telekomunikacyjnych oraz ochronie wspomnianych układów przed czynnikami środowiskowymi. Rozporządzenie doprecyzowuje także minimalny zakres ocen, analiz i raportów wspomnianych w art. 82 ww. ustawy.

W dalszej części artykułu zostaną szerzej omówione kluczowe zdaniem autorów – aspekty wskazanych dwóch dokumentów.

PRZYSZŁOŚĆ KRAJOWEGO SYSTEMU ELEKTROENERGETYCZNEGO

Celem realizowanych aktualnie przez PSE inwestycji jest zapewnienie przyłączenia morskich farm wiatrowych i zapewnienie możliwości wyprowadzenia mocy z tych farm oraz realizacja celów strategicznych Państwa dzięki umożliwieniu wzrostu

wolumenu energii elektrycznej OZE w ogólnym bilansie energii wytwarzanej w KSE.

Wspomniane wyżej inwestycje obejmują:

- budowę nowej stacji 400 kV Choczewo w pobliżu istniejącej stacji 400/110 kV Żarnowiec z przyłączeniem do niej części MFV oraz wprowadzeniem linii 400 kV Słupsk – Żarnowiec,
- budowę linii 400 kV relacji nowa stacja 400 kV Choczewo do nacięcia linii 400 kV relacji Gdańsk Błonia – Grudziądz Węgrowo,
- budowę linii 400 kV relacji nowa stacja 400 kV Choczewo do stacji Gdańsk Przyjaźń,
- przebudowę linii 400 kV relacji nowa stacja 400 kV Choczewo do stacji Żarnowiec na dwutorową linię 400 kV,
- budowę nowej stacji 400 kV Krzemienica w pobliżu istniejącej stacji 400/110 kV Słupsk z wprowadzeniem linii 400 kV Dunowo – Słupsk i linii 400 kV Słupsk – Żydowo Kierzkowo,
- rozbudowę stacji 400/110 kV Słupsk.

Schemat powiązań elementów KSP dla stanu istniejącego przedstawiono na rys. 1, a dla stanu projektowanego przedstawiono na rys. 2.



Rys. 1. Schemat istniejącej sieci elektroenergetycznej najwyższych napięć - przed planowaną rozbudową sieci [4]

Fig. 1. Scheme of the existing transmission network - before the planned expansion of the grid [4]



Rys. 2. Schemat połączeń sieci elektroenergetycznej najwyższych napięć z uwzględnieniem inwestycji planowanych do 2030 r. [4]

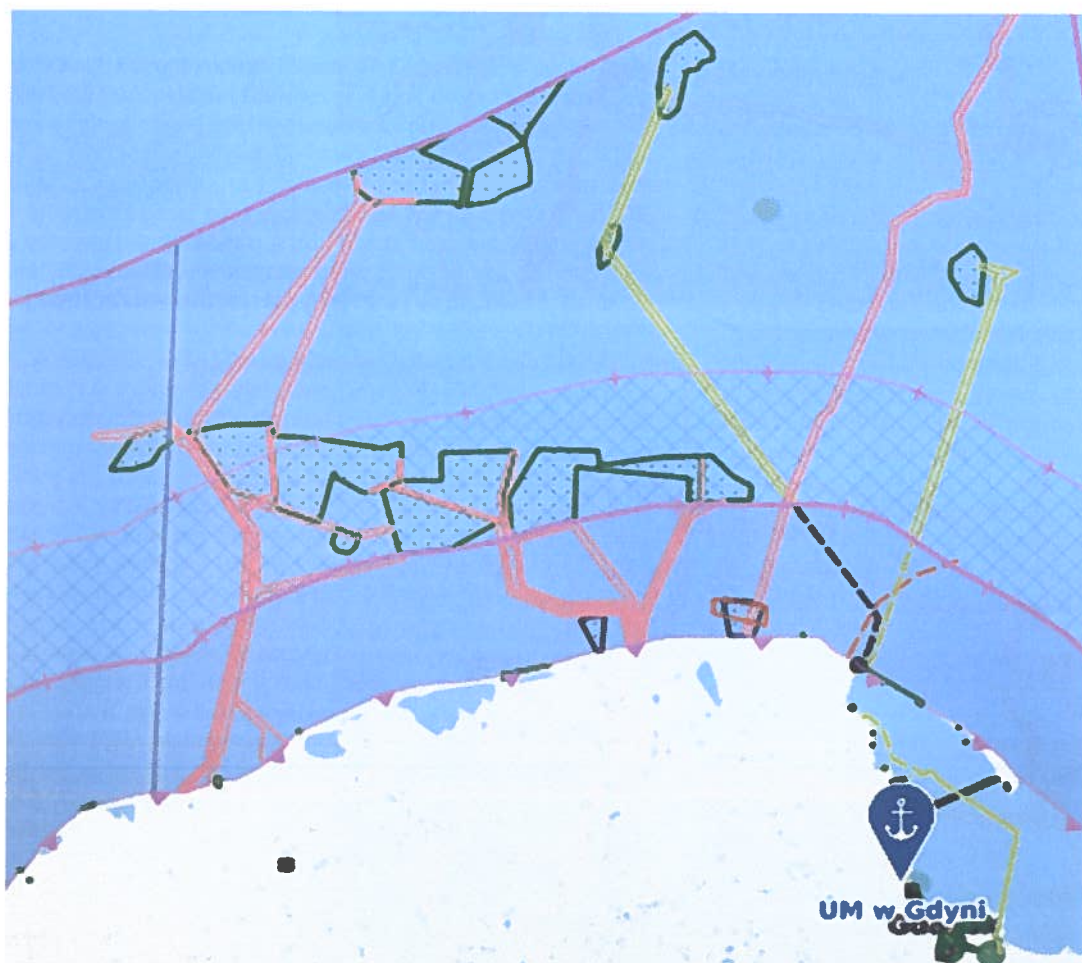
Fig. 2. Connection diagram of the transmission network, taking into account the investments planned until 2030 [4]

Przedstawione plany są zgodne ze strategią PSE oraz zbieżne z celami stabilnej pracy systemu – cel jest realizowany przez zapewnienie ciągłości działania oraz bezpieczeństwo dla przyszłych pokoleń, w tym aspekcie najważniejsze są dostawy energii elektrycznej w długim terminie. W tabeli dokonano zestawienia projektów, dla których zostały zawarte umowy o przyłączenie lub wydano warunki przyłączeniowe do sieci przesyłowej.

Zestawienie planowanych projektów morskich farm wiatrowych na Bałtyku [4]

Nazwa projektu	Inwestor	Moc [MW]
Baltica 3	PGE Baltica	1045
Baltica 2	PGE Baltica	1489
Bałtyk III	GK Polenergia	720
Bałtyk II	GK Polenergia	720
Baltica 1	PGE Baltica	896
Baltic Power	PKN Orlen	1200
C-Wind	Ocean Winds	399
Baltic II	RWE Renewables	350
Bałtyk Środkowy II	Polenergia	240
Bałtyk Północny	Polenergia	1560

Lokalizacja planowanych projektów została zaznaczona kolorem zielonym na rys. 3.



Rys. 3. Lokalizacja morskich farm wiatrowych [7]
Fig. 3. Location of offshore wind farms [7]

KLUCZOWE INWESTYCJE

Stacja Choczewo

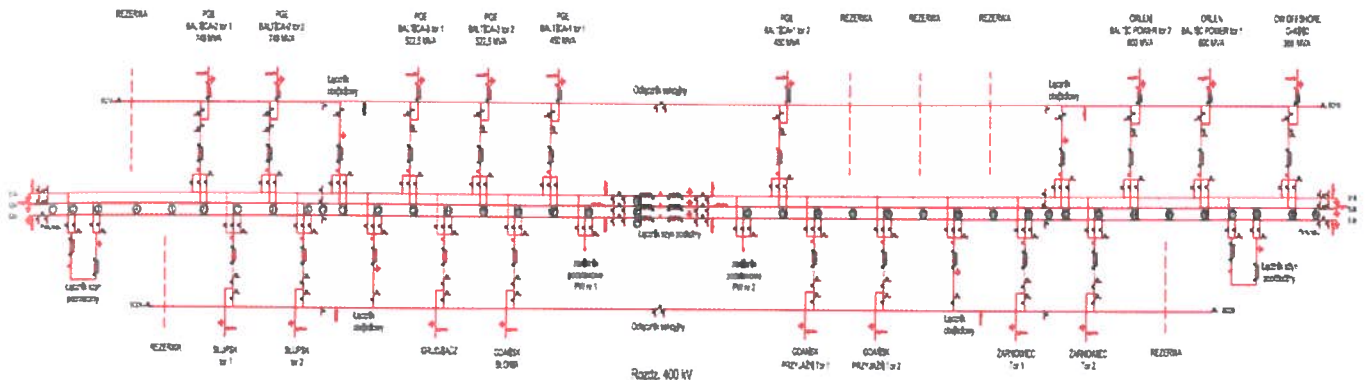
Planowana SE Choczewo będzie wyposażona w rozdzielnię 400 kV wykonaną w technologii AIS w układzie 3S+2SO. Układ stacji został przedstawiony na rys. 4. Systemy szyn zbiorczych (w wykonaniu rurowym) będą sekcjonowane (sekcja A i B). Sekcje A i B będą połączone łącznikiem podłużnym. Każda sekcja będzie wyposażona w: łącznik poprzeczny, uzemienniki systemowe, łączniki obejściowe i pola pomiaru napięcia. Przewiduje się wykonanie dwóch szyn obejściowych (w wykonaniu rurowym). Pola liniowe dla wprowadzeń napowietrznych będą miały bramki liniowe, natomiast pola linii kablowych – zabudowane stanowisko głowic kablowych.

Wyboru schematu rozdzielni 400 kV dokonano, uwzględniając rolę i znaczenie, w tym wymagania niezawodnościowe, przyszłej struktury projektowanej sieci, mając głównie na względzie:

- ograniczenie do minimum prawdopodobieństwa powstawania poważnych zakłóceń systemowych spowodowanych przez awarie zastosowanych urządzeń,
- wymagany stopień pewności wyprowadzenia mocy z elektrowni i ciągłości zasilania odbiorów oraz ich wzajemnych relacji,
- zapewnienie potrzebnej elastyczności ruchowej i eksploatacyjnej węzła (ewentualne potrzeby sekcjonowania sieci, prowadzenie ruchu w stanach remontowych i zakłóceńowych). Zastosowanie sprzęgieł podłużnych z wyłącznikiem zapewnia elastyczność w sekcjonowaniu pod obciążeniem. Zastępowanie pól można uzyskać z kolei, wykorzystując poszczególne łączniki poprzecz-

SE CHOZEWO - Schemat aktualny

Rozdz. 400 kV



Rys. 4. Schemat jednokreskowy rozdzielni Choczewo [4]

Fig. 4. Single line diagram of the Choczewo substation [4]

ne i szyny obejściowe. Zastępowanie systemów realizowane jest przez dwa sprzęgła podłużne, po jednym na sekcję.

- przystosowanie do ewentualnej etapowej rozbudowy rozdzielni wynikającej z przewidywanego wzrostu zapotrzebowania na energię elektryczną i rolę węzła w systemie elektroenergetycznym.

Sąsiednie tereny w bezpośredniej okolicy stacji Choczewo będą zajęte przez stacje należące do podmiotów przyłączanych (stacje pośredniczące morskich farm wiatrowych). Rozdzielnia 400 kV wyposażona będzie w układ obwodów wtórnych zgodny z nowym standardem z roku 2021 opartym na tzw. projektach typowych obwodów wtórnych.

Do ochrony: pól linii przesyłowych rozdzielni 400 kV, pól łączników szyn poprzecznych, podłużnych i obejściowych – stosuje się niezależnie zasilane urządzenia zabezpieczeniowe o następujących głównych funkcjach:

- terminal zabezpieczeniowy 1 (główna funkcja różnicowa – 87L, główna funkcja odległościowa – 21, główna funkcja zerowo-prądowa kierunkowa, dwustopniowa 67N),
- terminal zabezpieczeniowy 2 (główna funkcja różnicowa – 87L, główna funkcja odległościowa – 21, główna funkcja zerowo-prądowa kierunkowa, dwustopniowa 67N),
- moduł wyłącznikowy realizujący SPZ i kontrolę synchronizmu (79, 25), z (o ile jest to wymagane w danym zastosowaniu) funkcją kumulacji prądów wyłącznika (SUM).

Do współpracy z zabezpieczeniami po drugiej stronie linii stosuje się dwa komplety teledziesięć. W przypadku terminali zabezpieczeniowych (multiterminali) wymaga się, aby urządzenia te pochodziły od różnych producentów. Ze względu na fakt, że wprowadzenie mocy z lądowych stacji inwestorów MFV (tzw. stacji abonenckich) odbywać się będzie na poziomie 400 kV, w stacjach przesyłowych (Choczewo i Krzemienica), do których będą przyłączone stacje abonenckie nie ma potrzeby transformacji napięcia – nie będzie więc jednostek transformatorowych. W związku z tym w projektowanych stacjach przesyłowych podstawowe zasilanie obwodów potrzeb własnych odbywać się będzie przy wykorzystaniu, po raz pierwszy w sieci przesyłowej, przekładników jednofazowych napięciowych mocy.

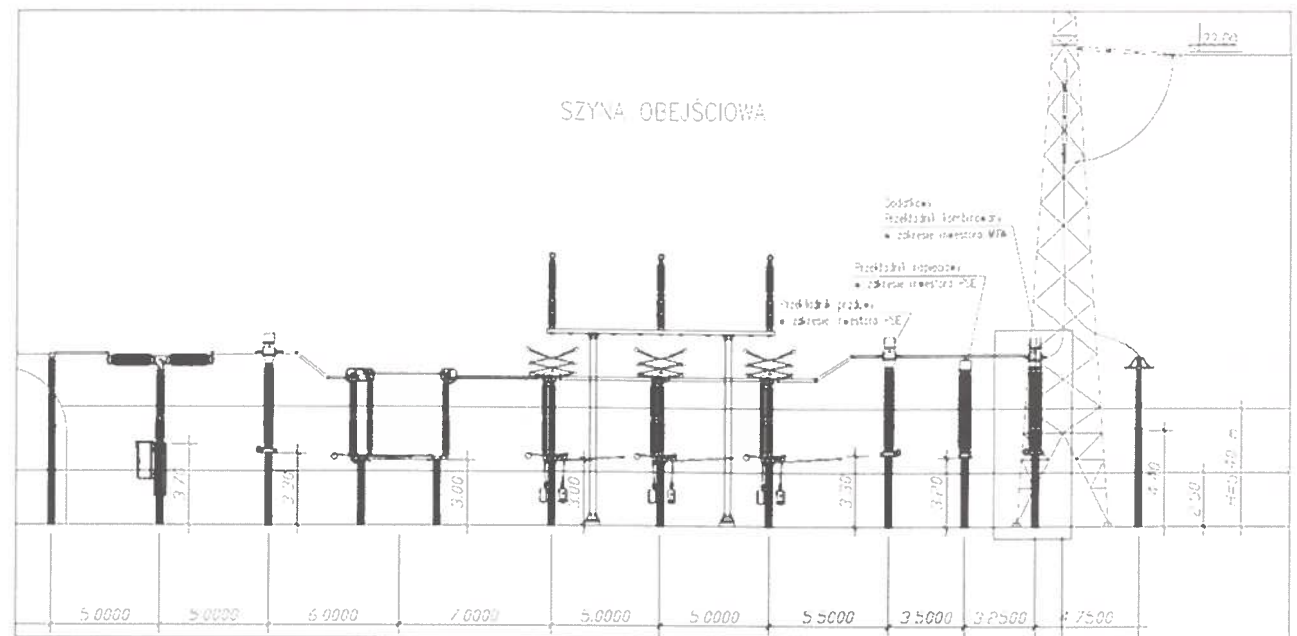
Zasilanie podstawowe 1 i 2 będzie zrealizowane z dwóch kompletów przekładników mocy (komplet składa się z trzech jednofazowych przekładników mocy 400/0,4 kV o mocy 3×125 kVA,

jeden komplet na jedno zasilanie podstawowe o mocy sumarycznej 375 kVA) podłączonych po stronie uzwojenia pierwotnego przez odłączniki do głównych systemów A i B szyn zbiorczych na poszczególne sekcje tych systemów w specjalnie wykonanych polach rozdzielni 400 kV na terenie stacji (kompletny układ wyposażony m.in. w: rozdzielnice/szafy nn, kable i stabilizatory napięcia).

Aby oszacować prąd zwarciový, dokonano szczegółowych analiz zwarciových na szynie północnej. Podstawowe założenia zawierały wpływ na wartość tego prądu ponad 10 GW mocy z MFV, 4×1110 MW z bloków planowanej elektrowni jądrowej oraz układu rozbudowywanego na tym obszarze schematu KSE. Dodatkowo symulacje uwzględniały zróżnicowaną moc autotransformatorów 400/220 kV zainstalowanych w stacjach abonenckich. Wyniki obliczeń i analiz wykazały, że konieczne jest przyjęcie wartości prądu zwarciových na poziomie 63 kA. Skutkuje to bardzo wysokimi wymaganiami w zakresie wytrzymałości zwarciových aparatury, konstrukcji oraz układu uziemienia.

Inwestor MFV jest zobowiązany dotrzymać odpowiednich parametrów energii elektrycznej i regulacji w punkcie przyłączenia farmy, niezależnie od miejsca zainstalowania układów odpowiedzialnych za tę regulację. W związku z planowanymi przyłączeniami morskich farm wiatrowych do rozdzielni w stacjach elektroenergetycznych Choczewo i Krzemienica, konieczne było określenie sposobu i miejsca wykonywania pomiarów prądów i napięć niezbędnych do pracy regulatorów morskich farm wiatrowych i urządzeń STATCOM. Mając na uwadze ustandaryzowanie pól w rozdzielniach stacji Choczewo, uniknięcie problemów eksploatacyjnych związanych z lokalizacją obcych urządzeń na terenie stacji PSE oraz stosunkowo bliską odległość stacji abonenckich morskich farm wiatrowych od punktu przyłączenia – dopuszcza się nieinstalowanie dodatkowych przekładników własności inwestora MFV na terenie stacji przesyłowych i korzystanie z sygnałów z przekładników zainstalowanych w stacjach abonenckich.

Jednocześnie układ R400kV w SE Krzemienica i SE Choczewo umożliwi (w przypadku takiej konieczności) instalację dodatkowego przekładnika kombinowanego w polu przeznaczonym do przyłączenia MFV – istnieje odpowiednia rezerwa terenowa. Przekrój pola wyznaczony do przyłączenia MFV został przedstawiony na rys. 5.



Rys. 5. Przekrój pola przeznaczonego do przyłączenia MFW w przypadku konieczności instalacji dodatkowego przekładnika kombinowanego [4]
 Fig. 5. Cross-section of the bay dedicated to connecting the OWF if an additional combined current and voltage transformer is needed [4]

Rozbudowa połączeń liniowych

W ramach wyprowadzenia mocy z morskich farm wiatrowych planowane jest – poza kablem eksportowym – wybudowanie dwóch linii napowietrznych 400 kV relacji Choczewo – Gdańsk Przyjaźń oraz Choczewo – nacięcie linii Gdańsk Błonia – Grudziądz Węgrowo. Planowane budowy zostały przedstawione na rys. 2 linią przerywaną.

Charakterystyka budowanych linii to m.in.:

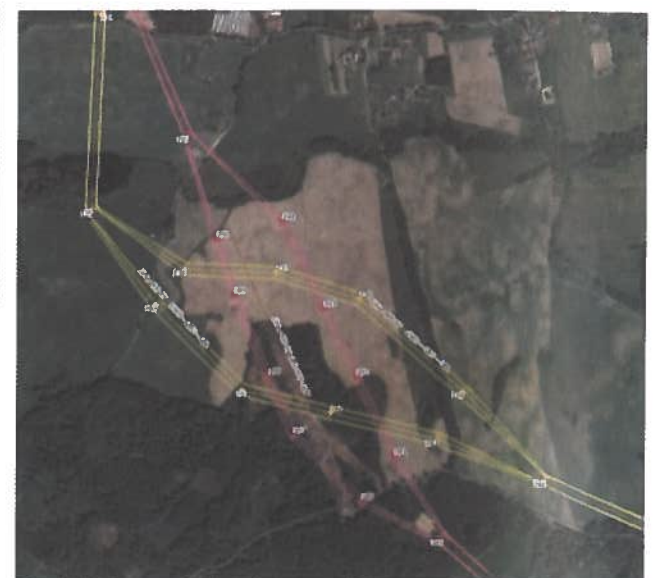
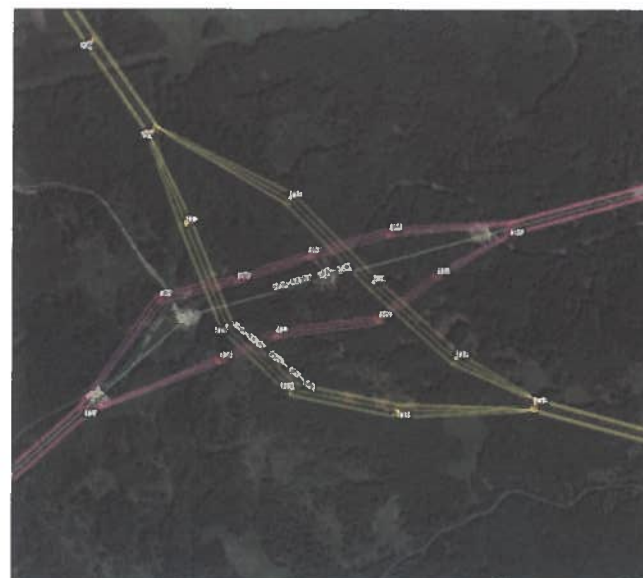
- Choczewo – nacięcie linii Gdańsk Błonia – Grudziądz Węgrowo (długość linii ok. 126 km, odbiór końcowy 2029 r.),
- Choczewo – Gdańsk Przyjaźń (długość linii ok. 80 km, odbiór końcowy 2027 r.).

Jak można zauważyć z rys. 2 – nowe połączenia krzyżują się z istniejącymi już liniami relacji Gdańsk Przyjaźń – Żydowo Kierkowo, Gdańsk Przyjaźń – Pelplin.

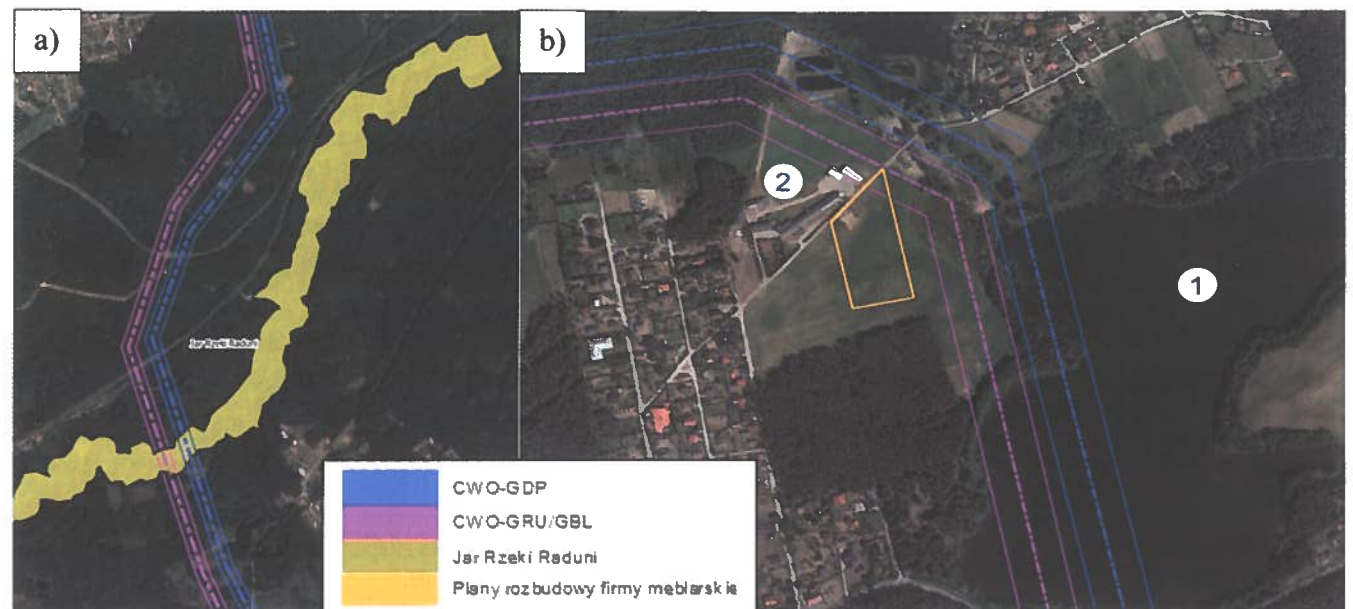
W wyniku tego zostały opracowane przez zespół ekspercki PSE cztery warianty zabezpieczenia skrzyżowań linii NN. Wybrane zostało rozwiązanie zwiększające projektowe współczynniki niezawodności projektowanej linii 400 kV Choczewo – Grudziądz – Gdańsk Błonia. Schemat poglądowy rozwiązania został przedstawiony na rys. 6.

Przedstawione rozwiązanie cechuje się następującymi walorami:

- skrzyżowanie dolnej linii 400 kV wykonano bez dodatkowych konstrukcji zabezpieczających,
- możliwość adaptacji typowych konstrukcji wsporczych przez dostosowanie ich do trzeciego poziomu niezawodności,
- możliwość wykorzystania zaadaptowanych konstrukcji jako zabezpieczających w podobnych przypadkach,
- zwiększenie współczynników częściowych oddziaływań wyjątkowych dla konstrukcji ponad wymagania normatywne,



Rys. 6. Schemat poglądowy wybranego rozwiązania dwóch dwutorowych linii przesyłowych [4]
 Fig. 6. Schematic diagram of the selected solution of two double circuit transmission lines [4]



Rys. 7. Planowane przecięcie linii w lokalizacji: a) Jar Rzeki Raduni, b) sąsiedztwo Jeziora Karlikowskiego [4]
Fig. 7. Planned intersection of the line in the location: a) Radunia River Yard, b) Neighborhood of Karlikowski Lake [4]

- zwiększenie współczynników częściowych dla izolacji i osprzętu ponad wymagania normatywne $> \gamma_M = 1,8$,
- ograniczony obszar zagospodarowania terenu oraz wycinki. Kolejnym utrudnieniem było przecięcie Rezerwatu Jar Rzeki Raduni. Przejście przez rezerwat zostało zaprezentowane na rys. 7a. Główne założenia uwzględnione przez zespół to m.in.:
- zastosowanie linii napowietrznej, co znacząco ograniczy ingerencję w środowisko,
- przejście przez Rezerwat Jar Rzeki Raduni dwoma liniami równoległe,
- zastosowanie słupów nadleśnych, by ograniczyć ingerencję w środowisko,
- przecięcie rezerwatu w jak najwęższym miejscu,
- ominięcie terenów przeznaczonych pod zabudowę mieszkaniową i minimalizacja ewentualnych zbliżeń do takiej zabudowy.

W bliskim sąsiedztwie rezerwatu znajduje się Jezioro Karlikowskie, zostało to przedstawione na rys. 7b. Przypadek przejścia przez tę lokalizację został również uwzględniony w analizie.

Główne założenia to:

- ominięcie obszarów najcenniejszych krajobrazowo i turystycznie na terenie gminy Kartuzy,
- minimalizacja ewentualnych zbliżeń do zabudowy mieszkaniowej,
- trasa linii została zaprojektowana tak, aby w minimalnym stopniu linia przebiegała nad powierzchnią jeziora,
- ograniczenie kolizji z zabudową mieszkaniową i produkcyjną,
- umożliwienie przyszłej rozbudowy sieci dla lokalnego zakładu produkcyjnego,
- ograniczenie liczby słupów załomowych,
- ominięcie stref archeologicznych.

Wskazane założenia w obu przypadkach zostały wypracowane na podstawie konsultacji z mieszkańcami, samorządami, właścicielami działek oraz Nadleśnictwem Kolbudy.

UKŁAD WYPROWADZENIA MOCY

Moc czynna generowana w pojedynczej morskiej farmie wiatrowej (MFW) zlokalizowanej w Polskiej Wyłącznej Strefie Ekonomicznej na Bałtyku, jaka będzie podłączona do KSE może osiągnąć

wartość nawet 1500 MW i w związku z tym zastosowanie innowacyjnych rozwiązań oraz wyspecjalizowanych urządzeń jest koniecznością ze względu na:

- bezpieczeństwo eksploatacji kompleksu MFW,
- zapewnienie jakości generowanej energii,
- spełnienie wymagań związanych z warunkami przyłączenia MFW do KSE, w tym z koniecznością zapewnienia stabilności Krajowego Systemu Energetycznego w przypadku wystąpienia zwarcia oraz zaniku napięcia w sąsiedztwie punktu przyłączeniowego, jak i na terytorium MFW.

Aby sprostać tym wszystkim wymaganiom, należy zastosować w MFW unikatowe rozwiązania pozwalające realizować dynamiczną regulację napięcia, szybkie dostarczenie mocy czynnej w punkcie przyłączenia MFW do Krajowego Systemu Energetycznego, z zastosowaniem m.in. układów STATCOM. Stawiane są również wysokie wymagania co do samych aparatów elektrycznych, rozdzielni na lądzie jak i na platformie. W celu przyłączenia MFW do KSE przedsiębiorstwo energetyczne musi uzyskać warunki przyłączeniowe lub wstępne warunki przyłączenia otrzymane od operatora sieci. Kontrolę procesu wydawania wniosków sprawuje prezes URE. OSP ma prawo pierwokupu urządzeń służących do wyprowadzenia mocy, jeśli jest to kluczowe dla bezpieczeństwa pracy KSE. Początkiem układu wyprowadzenia mocy z MFW są zaciski strony wysokiego napięcia transformatora mocy na stacji morskiej. Najistotniejszymi wymaganiami wynikającymi z rozporządzenia, jakie MFW musi spełnić, by móc starać się o przyłączenie do sieci przesyłowej są:

- stacja i zespół urządzeń do wyprowadzenia mocy zostały wybudowane do pracy na napięciu przemiennym 220 kV lub wyższym, stosowanym w sieci przesyłowej na terenie działania OSP należącego do ENTSO-E lub napięciu stałym niezależnie od wartości,
- stacja elektroenergetyczna na lądzie i na morzu musi być wyposażona w niezależny system zasilania awaryjnego i bezprzerwowego, głównie w postaci agregatu oraz baterii akumulatorów,
- minimalna dostępność operacyjna w odniesieniu do wytwarzania energii elektrycznej w MFW wynosi minimum 99%, w całym okresie minimalnego operacyjnego czasu życia wartość ta może być niższa dwa razy, jednak nie może być niższa niż 97%,

- jeżeli występuje jedno połączenie między MFW a punktem przyłączeniowym dostępność operacyjna w odniesieniu do wytwarzania energii elektrycznej nie może być na poziomie niższym niż 98%, przy czym w całym okresie minimalnego czasu życia wartość ta może być dwa razy niższa, jednak nie niższa niż 83%,
- jeżeli jest to technologicznie możliwe kablową linią eksportową wykonuje się z jednego odcinka kabla lub kabli, bez stosowania muf kablowych,
- kable eksportowe mają pancerz-zbrojenie, zapewniające odpowiednią wytrzymałość mechaniczną i ochronę przed skręcaniem, w miejscach szczególnie zagrożonych, skrzyżowaniach ze szlakami żegludowymi, stosuje się dodatkowe zabezpieczenia przed uszkodzeniami mechanicznymi,
- odległości między kablami eksportowymi pozwalają na prace naprawcze bez ingerencji w sąsiednią linię,
- przepusty rurowe zastosowane w miejscach przejścia kabla na ląd powinny umożliwiać usunięcie awarii lub ułożenie dodatkowego kabla.

W dokumencie opisano metodę wyliczenia dostępności operacyjnej, jaka będzie stosowana w całym min. 25-letnim okresie eksploatacji MFW i układu wyprowadzenia mocy. Aby możliwe było osiągnięcie wymaganych prawem wartości dostępności operacyjnej, niezwykle ważne jest zastosowanie odpowiednich rozwiązań projektowych (np. 2 systemy szyn zbiorczych rozdzielni NN), organizacyjnych (np. ekipy serwisowe z krótkim czasem reakcji, rezerwa magazynowa najistotniejszych elementów układu) oraz elementów układu o odpowiednio wysokiej niezawodności. Projektując więc układ wyprowadzenia mocy, inwestor powinien wyznaczyć dla niego dostępność projektową. Algorytm obliczeniowy tego wskaźnika nie został zawarty w rozporządzeniu, które w tym zakresie wymaga od inwestora uwzględnienia dostępności projektowej w dokumentacji układu wyprowadzenia mocy przekazywanej OSP. Stąd jedną z kluczowych kwestii jest stosowanie jednolitej metodyki w procesie weryfikacji dostępności projektowej zespołu urządzeń służących do wyprowadzenia mocy z MFW, która będzie stosowana przez OSP na potrzeby opiniowania dokumentacji projektowej tego zespołu urządzeń przedkładanej przez inwestorów.

Minimalną dostępność zespołu urządzeń służących do wyprowadzenia mocy określa się przez dostępność projektową, dostępność operacyjną w odniesieniu do mocy przyłączeniowej morskiej farmy wiatrowej i dostępność operacyjną w odniesieniu do wytwarzania energii elektrycznej w morskiej farmie wiatrowej [6]. Przez dostępność zespołu urządzeń służących do wyprowadzenia mocy rozumie się zdolność tego zespołu urządzeń do wyprowadzania mocy z morskiej farmy wiatrowej na poziomie równym mocy przyłączeniowej tej morskiej farmy wiatrowej [6].

Celem procesu weryfikacji dostępności projektowej zespołu urządzeń służących do wyprowadzenia mocy z morskiej farmy wiatrowej jest niezależne potwierdzenie przez OSP, że rozwiązania techniczne i zarządcze planowane do zastosowania przez inwestora w tym zespole urządzeń wskazane w opiniowanej dokumentacji projektowej zapewniają spełnienie wymagań minimalnych postawionych w rozporządzeniu w odniesieniu do dostępności operacyjnej zespołu urządzeń służących do wyprowadzenia mocy, wyznaczonych na podstawie statystycznych niedostępności nieplanowych kluczowych urządzeń tego zespołu.

Prowadzone konsultacje z inwestorami wykazują niekiedy dążenie do wprowadzania przez niektórych oszczędności w zakresie projektowym, jak i również w późniejszym procesie budowy i eksploatacji stacji lądowych i morskich. Wynika to często z chęci wykorzystania modeli i rozwiązań zastosowanych w innych apli-

kacjach na świecie. Jednym z przykładów może być próba eliminowania wyłączników w polach dławików kompensacyjnych na stacjach morskich i zastępowania ich odłącznikami. W wyniku pojawienia się zwarcia na dławiku, jego eliminacja realizowana jest przez wyłącznik zlokalizowany w stacji lądowej. Stacja lądowa połączona jest z morską kablem eksportowym cechującym się dużą pojemnością, która rozładowując się będzie zasilala zwarcie w stacji morskiej. Dobrą praktyką w przypadku projektowania stacji jest zastosowanie dwóch przekładników prądowych niezbędnych do zadziałania zabezpieczenia różnicowego w polu dławika. Takie rozwiązanie pozwala na uzyskanie lepszej selektywności oraz szybszego czasu zadziałania, co pozwoli na zminalizowanie wpływu pojemności kabla na łuk zwarciaowy.

Projektowanie układów wyprowadzenia mocy z MFW charakteryzuje się w pewnych obszarach odmiennym podejściem niż przyjmowane dotychczas w typowych układach systemu przesyłowego.

Jako charakterystyczne cechy wymienić można:

- dobór przekroju kabla eksportowego, korzystając z metod dynamicznego obciążenia,
- dostosowanie napięć urządzeń i stacji do typoszeregów stosowanych przez innych OSP zrzeszonych w ENTSO-E, np. napięcie 275 kV,
- ocenę projektów pod kątem niezawodności i funkcjonalności obiektu.

PODSUMOWANIE

Technologia związana z morską energetyką wiatrową rozwija się. Morska energetyka wiatrowa przekłada się na zwiększenie bezpieczeństwa energetycznego kraju, tworzenie miejsc pracy, na redukcję wskaźników emisji gazów cieplarnianych oraz promocję zrównoważonego rozwoju. Realizowane inwestycje mimo dojrzałości morskiej energetyki wiatrowej na świecie będą pierwszymi w Polsce. Jest to punkt zwrotny w polskiej energetyce, która swoje fundamenty opierała na paliwach kopalnych. Przedstawione w artykule zagadnienia pokazują złożoność aspektów technicznych – jak i prawnych, które odpowiednio opracowane przyczynią się do bezpiecznego wyprowadzenia mocy z systemu MFW do KSE.

LITERATURA

- [1] Gul A. Wyprowadzenie mocy z kompleksu morskich farm wiatrowych.
- [2] Gul A. Innowacyjne rozwiązania oraz urządzenia stosowane w Morskich Farmach Wiatrowych Dużych Mocy wpływające na: bezpieczeństwo, jakość generowanej energii, stabilność Krajowego Systemu Energetycznego.
- [3] Gul A. 2019. Innowacyjne rozwiązania zastosowane w Kompleksie Morskich Farm Wiatrowych Wielkiej Mocy, z uwzględnieniem wymagań dla zabezpieczenia morskiej sieci kablowej prądu stałego, III Kongres EP 2019.
- [4] Materiały wewnętrzne opracowane przez Wydział Przygotowywania Inwestycji, Centralna Jednostka Inwestycyjna Polskich Sieci Elektroenergetycznych S.A.
- [5] pomorzadajemoc.pse.pl (dostęp 28.07.2022 r.).
- [6] Rozporządzenie Ministra Klimatu i Środowiska z dnia 25 maja 2022 r. w sprawie szczegółowych wymagań dla elementów zespołu urządzeń służących do wyprowadzenia mocy oraz dla elementów stacji elektroenergetycznych zlokalizowanych na morzu.
- [7] sipam.pl (dostęp 25.07.2022 r.).
- [8] Smar J., J. Jaworski, M. Sowa. Odnawialne Źródła Energii (OZE) w Polsce-Diagnoza stanu bieżącego oraz perspektywy rozwoju do roku 2027, Agencja Rynku Energii.
- [9] Ustawa z dnia 17 grudnia 2020 r. o promowaniu wytwarzania energii elektrycznej w morskich farmach wiatrowych.