Algorytmy sterowania farmą wiatrową w normalnych i zakłóceniowych stanach pracy systemu elektroenergetycznego

Autorzy:

Ireneusz Grządzielski, Rafał Welenc - Politechnika Poznańska, Instytut Elektroenergetyki, Tomasz Pluciński - ENEA S.A. Oddział w Gorzowie

(„Energetyka" – styczeń 2007)

Szybki rozwój energetyki wiatrowej powoduje ciągły wzrost mocy znamionowych pojedynczych siłowni wiatrowych (SW). Jednocześnie wzrastają moce farm wiatrowych (FW) instalowanych w systemach elektroenergetycznych (SE). Sytuacja ta wymusiła na operatorach systemów elektroenergetycznych konieczność opracowania szczegółowych wymagań dla przyłączanych FW. Wymagania te mają na celu zapewnienie bezpiecznej pracy systemu [1].

PSE- Operator SA, w ślad za zachodnimi operatorami, opracował kartę aktualizacyjną do IRiESP [2]. W karcie tej określono wymagania techniczne dla FW w zakresie:

- regulacji mocy czynnej,
- pracy farmy przy zmianach napięcia i częstotliwości,
- załączania farmy do pracy i wyłączania z sieci,
- regulacji napięcia i mocy biernej,
- zachowania przy zakłóceniach sieciowych,
- standardów jakości energii elektrycznej,
- elektroenergetycznej automatyki zabezpieczeniowej (EAZ),
- monitoringu i systemu telekomunikacyjnego,
- testów sprawdzających.

Wymagania te spowodują konieczność odpowiedniego sterowania farmami w normalnych i zakłóceniowych stanach pracy Krajowego Systemu Elektroenergetycznego (KSE). FW będą zatem musiały być wyposażone w specjalizowane systemy SCADA. Wiele zadań będzie musiał przejąć centralny (grupowy) układ automatycznego sterowania pracą FW, oddziałujący na układy regulacji pojedynczych siłowni wiatrowych.

W artykule przedstawiono wybrane algorytmy automatycznego sterowania FW, które są odpowiedzią na wymagania stawiane przez IRiESP. Opracowano model FW z grupowym regulatorem. Model ten umożliwia prowadzenie szczegółowych analiz różnych stanów pracy KSE z farmami wiatrowymi. Przewiduje się, że algorytmy sterowania FW będą w dalszych pracach doskonalone, uwzględniając różne aspekty wymagań bezpiecznej pracy KSE i producentów siłowni wiatrowych.

Obowiązujące wymagania w zakresie regulacji parametrów FW

PSE - Operator SA w IRiESP [2] zawarł szczegółowe wymagania dla FW, dzieląc je na dwie grupy farm: FW o mocy mniejszej niż 50 MW i FW o mocy większej od 50 MW. Nowe wymagania dotyczą nowych FW oraz FW podlegających gruntownej modernizacji.

W opracowanych algorytmach automatycznego sterowania FW znalazły swoje odzwierciedlenie wymagania dotyczące wymienionych poniżej kwestii.

Regulacja mocy czynnej

Wymagania te dotyczą utrzymywania określonego poziomu mocy (z dokładnością do ±5%), zapobiegania nadmiernym gradientom zmian mocy czynnej w warunkach normalnej pracy (nie może przekraczać 10% mocy znamionowej farmy) oraz możliwości ograniczenia mocy farmy lub całkowitego wyłączenia na wniosek operatorów systemu (OSP lub OSD) w wyniku zagrożenia bezpieczeństwa pracy systemu.

Praca farmy przy zmiennej częstotliwości i napięciu

Określono stany pracy farmy, tj. poziom mocy oraz czas pracy w zależności od zmian częstotliwości w systemie (tab.1).

FW musi spełniać te wymagania przy zmianie napięcia w miejscu przyłączenia do sieci 110 kV w zakresie 110 kV ±10%. FW o mocy powyżej 50 MW powinny być przystosowane do udziału w regulacji częstotliwości w systemie.

Tabela 1

Zmiany mocy FW oraz czas jej pracy przy zmianach częstotliwości w KSE [1]

Zakres częstotliwości	Poziom mocy czynnej	Minimalny czas pracy
$49,5 \le f \le 50,5$ Hz	moc znamionowa	praca trwała
$48,5 \le f \le 49,5$ Hz	90% mocy	30 min
$48,0 \le f \le 48,5$ Hz	85% mocy	20 min
$47,5 \le f \le 48,0$ Hz	80% mocy	10 min
$f < 47,5$ Hz	można odłączyć od sieci FW	czas uzgodniony z operatorem
$50,5 \le f \le 51,5$ Hz	moc ograniczana do wartości równej zero przy częstotliwości 51,5 Hz	praca trwała
$f > 51,5$ Hz	należy odłączyć od sieci	maksymalny czas wyłączenia 0,3 s

Załączanie farmy do pracy i wyłączania z sieci

Gradient przyrostu mocy FW nie może przekraczać określonej wartości również podczas załączania i wyłączania farmy w wyniku zbyt małej lub zbyt dużej prędkości wiatru. Dopuszcza się przekroczenie tego gradientu jedynie w przypadku zakłóceń w sieci i awarii w farmie wiatrowej.

Regulacja napięcia i mocy biernej

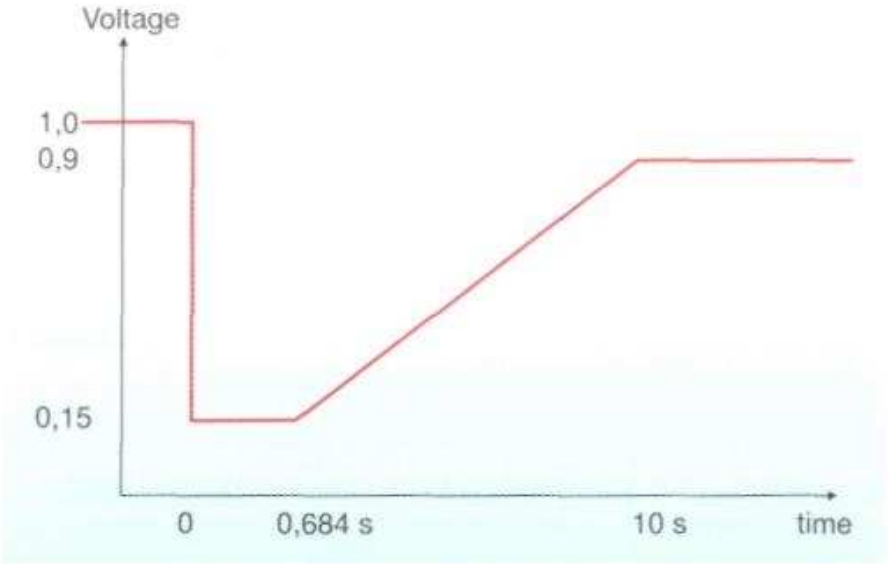
FW musi mieć możliwość regulacji współczynnika mocy lub napięcia w miejscu przyłączenia do sieci. Podczas produkcji mocy czynnej FW musi mieć możliwość pracy ze współczynnikiem mocy w miejscu przyłączenia do sieci w granicach od 0,975 (indukcyjnym) do 0,975 (pojemnościowym), w pełnym zakresie obciążenia. FW może też mieć zadane utrzymywanie stałego napięcia w miejscu przyłączenia.

Zachowania przy zakłóceniach sieciowych

Wymagania odnośnie do pracy w trakcie zakłóceń zostały zróżnicowane ze względu na rodzaj generatora i tak:

■ FW wyposażone w generatory asynchroniczne przy spadku napięcia w miejscu przyłączenia do 60-80% przez czas od 2-10 s powinny szybko redukować moc czynną i zwiększać moc bierną, a gdy to nie spowoduje odbudowy napięcia, mogą być wyłączane po czasie uzgodnionym z operatorem systemu.

■ FW wyposażone w generatory synchroniczne przy spadku napięcia do wartości 15% napięcia znamionowego muszą utrzymywać się w pracy w czasie do 600 ms, generując do sieci największą możliwą moc bierną.



Rys.1. Charakterystyka wymaganego zakresu pracy farmy wiatrowej w przypadku wystąpienia zakłóceń w sieci

Rozwiązania stosowane obecnie przez producentów SW zapewniają pracę urządzeń podczas stanu zakłóceniowego w zakresie napięć od 15% do 90% napięcia znamionowego dla przedziału czasów od 0,6 s do 10 s (rys. 1). Krzywa na rysunku przedstawia obszar, powyżej którego siłownie (z generatorami asynchronicznymi) farmy wiatrowej nie mogą być wyłączane. Gwarantuje to spełnienie wymogów IRiESP w tym zakresie.

Obowiązek dostosowania FW do powyższych wymogów pracy podczas zakłóceń dotyczy FW o mocy powyżej 50 MW. W przypadku FW o mocy poniżej 50 MW decyzję o stosowalności tych wymagań podejmuje operator systemu na podstawie wyników ekspertyzy przyłączenia FW do sieci elektroenergetycznej.

Model FW zastosowany w badaniach symulacyjnych

Model pojedynczej siłowni wiatrowej

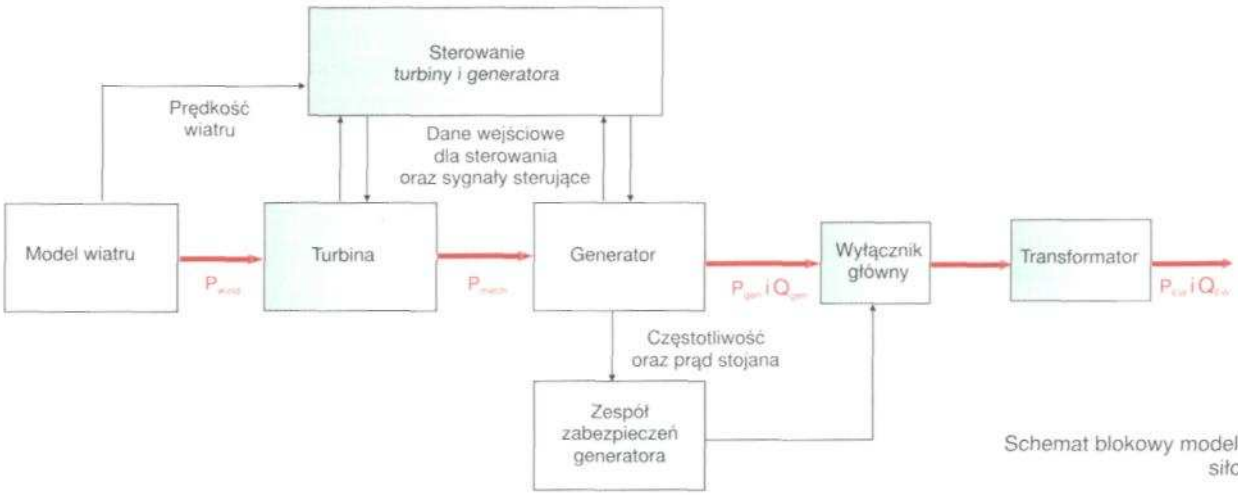
FW składa się z siłowni wiatrowych (SW) o zmiennej prędkości obrotowej z generatorami asynchronicznymi dwustronnie zasilanymi [3, 4].

Na rysunku 2 przedstawiono strukturę modelu siłowni wiatrowej, z zaznaczonymi głównymi elementami i relacjami zachodzącymi pomiędzy nimi.

W celu opracowania modelu SW przystosowano elementy znajdujące się w bazie pakietu programów GE PSLF [5] oraz opracowane modele własne. Najważniejszym problemem było znalezienie kompromisu między idealnym odwzorowaniem pracy SW oraz ograniczeniami technicznymi i czasowymi wynikającymi z rodzaju wykonywanych analiz dla KSE.

W skład modelu SW wchodzą:

- model generatora, który jest modelem generatora asynchronicznego dwustronnie zasilanego,
- modelu turbiny wiatrowej trójpłatowej z systemem regulacji kąta natarcia łopat.
- model zabezpieczeń, który jest modelem napisanym specjalnie dla SW uwzględniającym nowe wymagania stawiane EW przez IRiESP,
- model klasyczny transformatora dostępny w bazie modeli GE PSLF,
- opracowany model wiatru dla FW.



Rys. 2.
Schemat blokowy modelu pojedynczej siłowni wiatrowej

Typowa struktura FW, sposób przyłączenia do sieci 110 kV

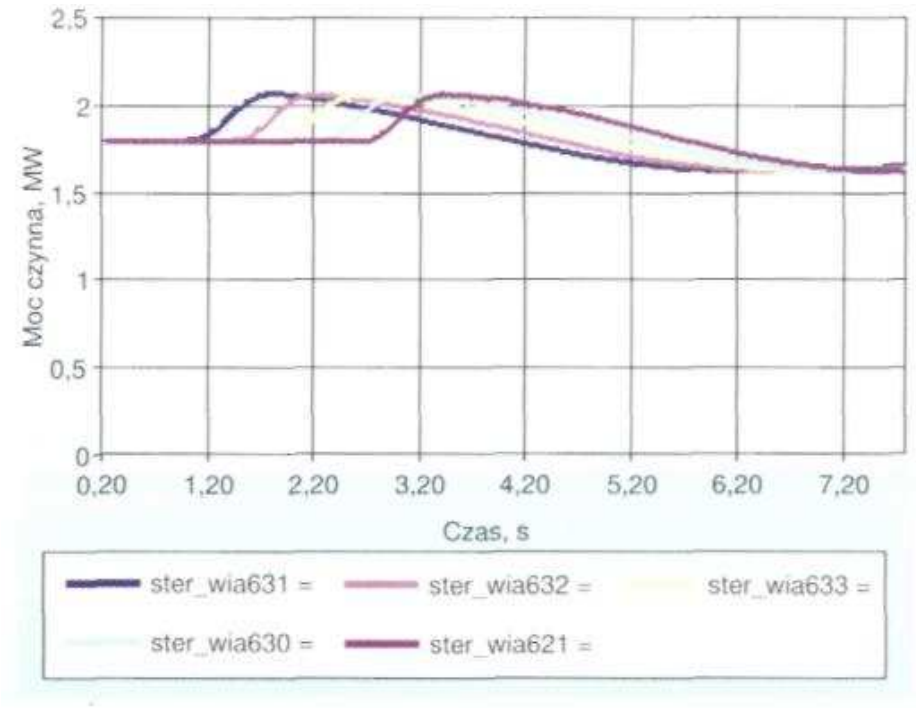
Do badań symulacyjnych przyjęto jeden z rzeczywistych projektów FW o mocy 60 MW składającej się z 30 siłowni wiatrowych, każda o mocy 2 MW. Strukturę przedmiotowej FW wraz z miejscem przyłączenia pokazano na rysunku 3.

FW przyłączona jest linią 110 kV do GPZ-u w istniejącym ciągu liniowym 110 kV. Na terenie FW znajduje się stacja 110/śn z dwoma transformatorami o mocy sumarycznej 100 MVA oraz przyłączonym do szyn śn regulatorem SVC. Ze stacji wychodzi 10 ciągów kablowych śn, do których przyłączono po 3 SW. Założono, że SW farmy połączone są siecią teleinformatyczną, która umożliwia zbieranie informacji z poszczególnych siłowni wiatrowych i zbieranie ich w centralnym systemie danych (system SCADA FW), a także przesyłanie informacji w drugą stronę.

<u>Model wiatru dla FW</u>

W założeniach dla modelu wiatru przyjęto, że umożliwi on zadawanie dla każdej SW dowolnej funkcji prędkości wiatru w celu odwzorowania bogatej gamy zjawisk związanych ze specyficznym charakterem czynnika energetycznego, jakim jest wiatr. Przyjęto w modelu możliwość generacji n - dowolnych skorelowanych ze sobą funkcji zawierających wolne i szybkie zmiany prędkości wiatru. Założono także możliwość odwzorowania zjawiska generowania momentów harmonicznych związanych z efektem przesłaniania łopat wirnika przez wieżę, jak i innych zjawisk związanych z charakterem czynnika, jakim jest wiatr. W dotychczas opracowanym modelu wiatru nie znalazły na razie odzwierciedlenia zjawiska szybkozmienne. Uwzględnienie tych zjawisk, które mają wpływ głównie na jakość energii elektrycznej, powodowałoby znaczne rozszerzenie algorytmu, a przez to wydłużenie czasu obliczeń. Zastosowany model umożliwia jednak odwzorowanie ważnego zjawiska, jakim jest np. zróżnicowanie prędkości wiatru, które skutkuje zróżnicowaniem mocy poszczególnych jednostek w danym przedziale czasowym [6].

Na rysunku 4 przedstawiono przykład działania modelu wiatru, w którym zasymulowano krótkotrwały podmuch wiatru o zadanej amplitudzie i kierunku. Wykres przedstawia moc wiatru dostarczoną do poszczególnych SW w funkcji czasu. Można zaobserwować różny czas startu podmuchu na poszczególnych jednostkach wynikający z ich różnej lokalizacji w terenie.



Rys. 4. Generowana moc czynna wybranych elektrowni wiatrowych FW, z różnych stref lokalizacyjnych, wynikająca ze zmiennej mocy wiatru

Wybrane elementy algorytmu sterowania farmą wiatrową

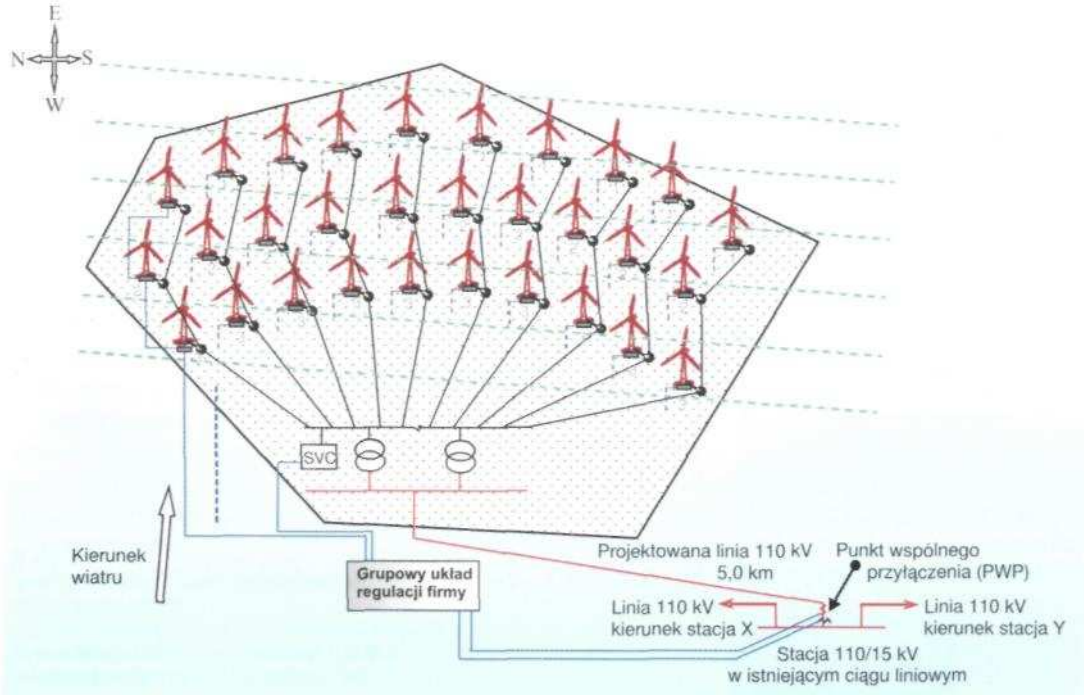
<u>Sterowanie generacją mocy czynnej</u>

Algorytm regulacji mocy czynnej uwzględnia następujące stany pracy FW:

a) praca bez ograniczeń z maksymalną moc czynną.

b) praca z zadaną mocą wynikającą z wymagań operatorów systemu, w sytuacji zakłóceń i zagrożeń w pracy systemu,

c) udział w regulacji częstotliwości.



Rys. 3. Struktura FW, wraz z miejscem przyłączenia, przyjęta w badaniach symulacyjnych

Pierwszy rodzaj pracy jest realizowany bezpośrednio przez pojedyncze SW, które używając regulacji kąta natarcia łopat (system *pitch*) optymalizują pracę na maksymalną moc czynną. Regulator grupowy w tym przypadku realizuje zadanie związane z gradientami zmian mocy czynnej w trakcie wzrostu lub obniżenia się mocy wiatru oraz podczas normalnych uruchomień i wyłączeń farmy. Regulator pozwala na nastawienie dowolnego gradientu, który nie może zostać przekroczony.

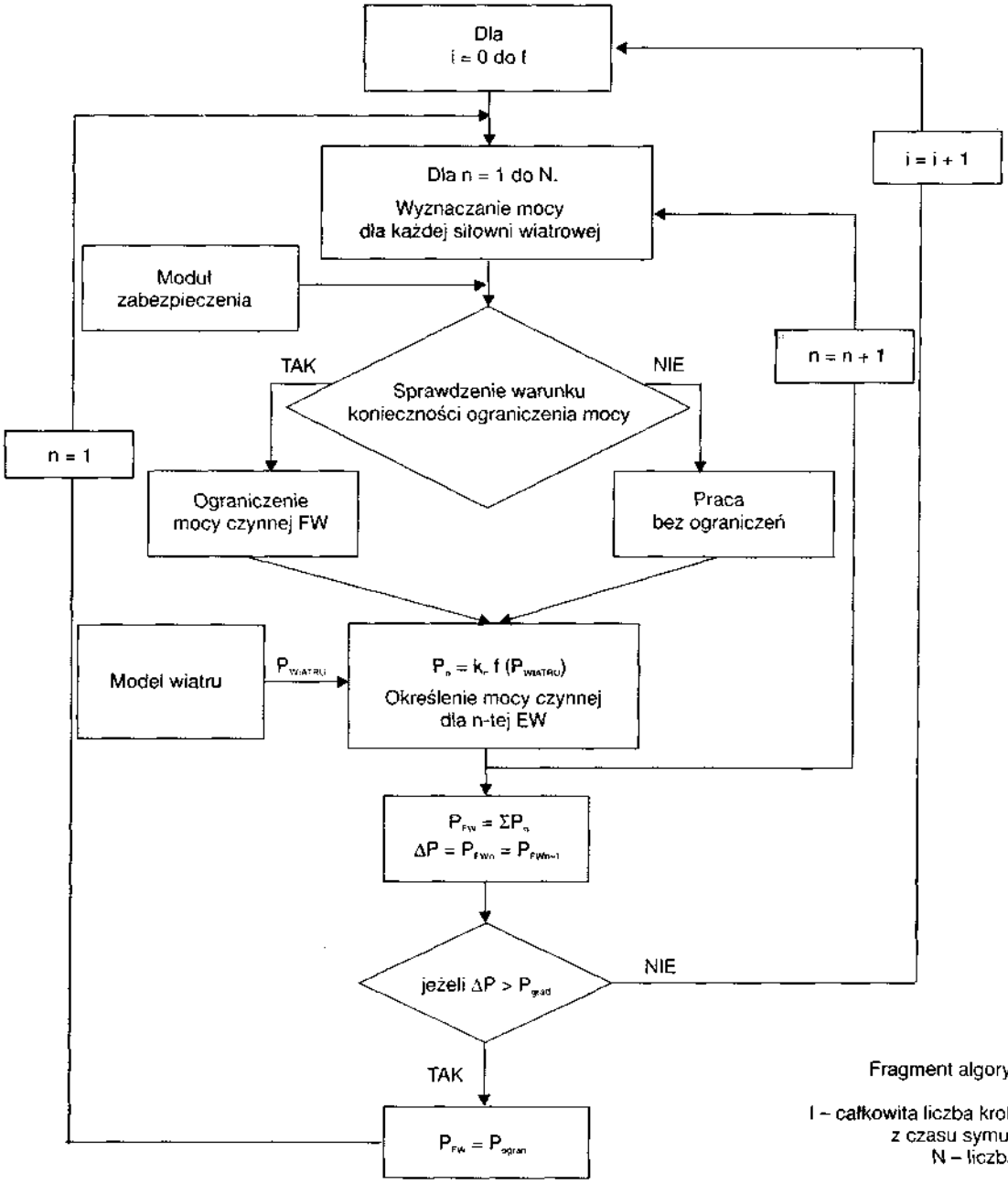
Drugi rodzaj pracy realizuje algorytm przedstawiony na rysunku 5.

Sygnałem wejściowym jest informacja o konieczności oraz poziomie ograniczenie mocy farmy. Ograniczenie mocy farmy może wynikać np. z awarii jednego z elementów sieci lub dyspozycji wydanej przez operatorów systemu.

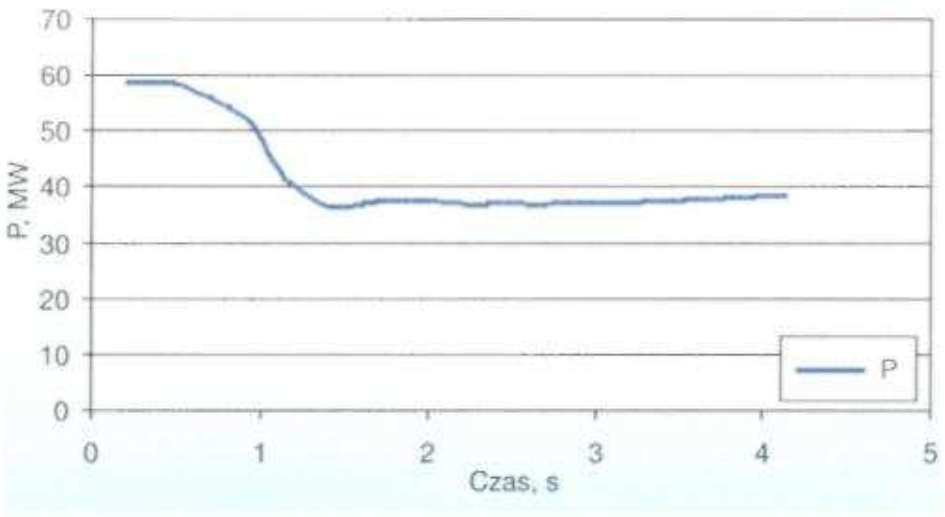
Po sprawdzeniu warunku dotyczącego ograniczenia mocy farmy, algorytm określa moc czynną dla każdej SW (P_n). Moc P_n jest funkcją mocy wiatru (P_{wiatm}) pomnożonej przez współczynnik ograniczenia (k_n), Na wartość współczynnika ograniczenia ma wpływ wartość ograniczenia mocy FW oraz odległość danej SW od stacji 110kV/śn. Następnie obliczana jest moc całkowita P_{FW} FW, jednocześnie algorytm sprawdza w każdym kroku, czy nie został przekroczony dopuszczalny gradient wzrostu mocy czynnej (P_{grad}). Jeżeli gradient nie zostanie przekroczony to przechodzi do następnego kroku, jeżeli jednak następuje przekroczenie, to dokonuje korekty współczynników ograniczania k, dla każdej SW.

Jako przykład podano działanie regulacji mocy czynnej przedmiotowej FW przy awariach w liniach 110 kV w pobliżu farmy. Algorytm sterowania śledzi stan pracy trzech linii 110 kV, dwóch linii zasilających stację 110/15 kV na ciągu liniowym między stacjami X i Y (rys. 2) oraz linii 110 kV łączącą przedmiotową FW z PWP.

Na rysunku 6 przedstawiono ograniczenie generacji mocy czynnej przez przedmiotową FW na wyłączenie jednej z linii 110 kV, która ze względu na możliwość przeciążenia drugiej linii wymusza ograniczenia mocy czynnej farmy o 30%.



Rys. 5.
Fragment algorytmu realizującego regulację mocy czynnej FW.
I – całkowita liczba kroków w symulacji wynikająca z czasu symulacji oraz kroku całkowania.
N – liczba SW na przedmiotowej FW



Rys. 6. Wykres zmian generowanej mocy czynnej FW przy ograniczeniu mocy o 30%

Opracowany algorytm sterowania generacją mocy czynnej FW umożliwia również regulację mocy w zależności od zmian częstotliwości w systemie. Zgodnie z informacjami przekazanymi przez producentów nowe jednostki wiatrowe mogą pracować w zakresie częstotliwości od 47,5 do 51,5 Hz. Ta zdolność pozwala siłowniom wiatrowym na regulacje poziomu mocy farmy w zależności od częstotliwości.

Zastosowanie FW do regulacji częstotliwości w systemie jest możliwe, choć na pewno nieuzasadnione ekonomicznie z punktu widzenia inwestorów. Rozwiązanie takie wymaga sterowania pracą farmy wiatrowej z tzw. odstępem [5] od maksymalnej mocy wytwórczej wynikającej z warunków wiatrowych. FW musiałaby wtedy pracować zawsze z mocą np. o 10% niższą od maksymalnej, co umożliwiałoby w każdej chwili czasu zwiększenie mocy czynnej FW.

Algorytm sterowania generacją mocy czynnej przez FW, przy wszystkich omówionych przypadkach, uwzględnia straty mocy czynnej powstające w liniach kablowych FW. Ograniczenia mocy czynnej nie odbywają się losowo, ale redukcja mocy zaczyna się w jednostkach najbardziej oddalonych od stacji 110 kV/śn FW, przez co straty generowane w ciągach kablowych średniego napięcia są minimalizowane.

Poza optymalizacją start algorytm może również optymalizować pracę ze względu na ilość operacji łączeniowych. W zależności od poziomu ograniczenia można je zrealizować poprzez wyłączenie określonej liczby jednostek (np. najdalej oddalonych - optymalizacja na minimum strat w sieci śn) lub dokonywać redukcji mocy wszystkich jednostek nie dopuszczając do wyłączenia żadnej z nich.

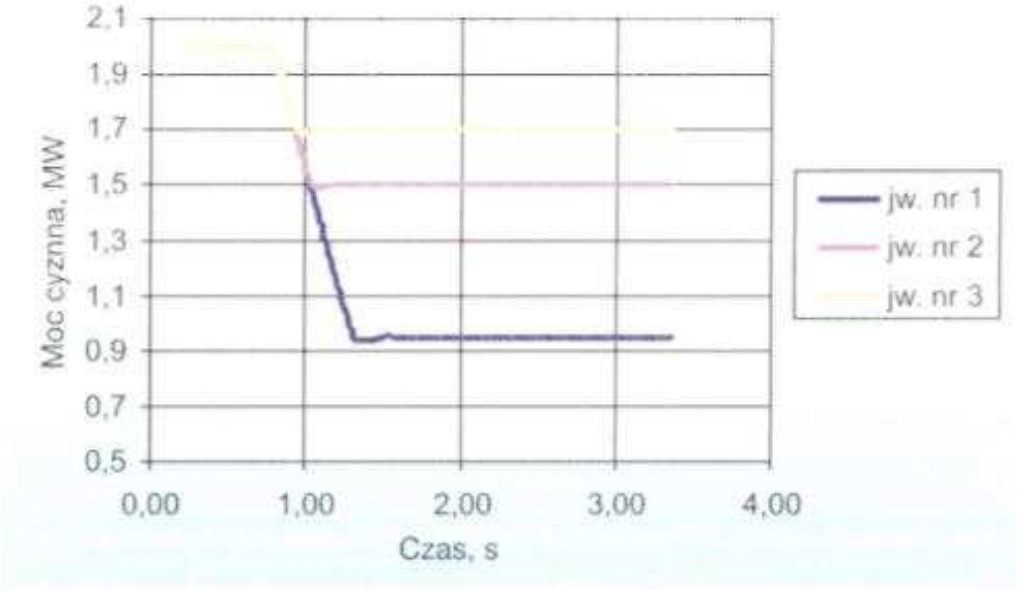
Na rysunku 7 przedstawiono wykres mocy czynnej dla trzech siłowni wiatrowych przyłączonych do tego samego ciągu przy ograniczeniu mocy czynnej farmy wiatrowej o 30%.

Numeracja jednostek z rysunku 6 odpowiada schematowi farmy z rysunku 1.

Dla tej analizy przyjęto, że w zależności od poziomu ograniczenia mocy farmy regulacja

będzie odbywać się w następującej kolejności:

- siłownie wiatrowe znajdujące się najdalej od stacji (z nr 1) -do 50% mocy,
- siłownie wiatrowe znajdujące się w środku ciągu (z nr 2) - do 25% mocy,
- siłownie wiatrowe znajdujące się najbliżej stacji (z nr 3) - do 15% mocy.



Rys. 7. Wykres mocy czynnej generowanej przez siłownie znajdujące się w tym samym ciągu

Algorytm sterowania umożliwia oczywiście przyjęcie innych schematów, ale przy dokładnym odwzorowaniu decydować będą parametry techniczne siłowni oraz sieci śn. Wybór algorytmu musi zostać poprzedzony wielowariantową analizą ekonomiki pracy farmy wiatrowej.

Regulacja napięcia i mocy biernej w punkcie przyłączenia farmy

Zgodnie z wymaganiami IRiESP FW musi mieć możliwość regulacji współczynnika mocy lub napięcia w punkcie wspólnego przyłączenia (PWP). W całym zakresie generacji mocy czynnej FW musi mieć możliwość regulacji współczynnika mocy w zakresie od 0,975 (indukcyjny) do 0,975 (pojemnościowy). Zakres ten może zmienić operator systemu. Wymagania te mogą zostać zrealizowane praktycznie na dwa sposoby.

Pierwszy to dostosowanie siłowni wiatrowych do tego wymagania, co niektórzy producenci siłowni wiatrowych już realizują.

Drugi sposób, bardziej uniwersalny, to zainstalowanie w stacji 110kV/śn FW dodatkowych urządzeń do regulacji napięcia i mocy biernej po stronie śn np. SVC lub STATCOM.

Rys. 8. Przebiegi napięcia i mocy biernej przy zmianie mocy czynnej dla dwóch przypadków pracy FW: bez SVC oraz praca z urządzeniem SVC

W przeprowadzonych dotąd analizach przyjęto rozwiązanie drugie. Na szynach śn zainstalowano urządzenie SVC o mocy ±50 Mvar (rys. 2). Wykorzystany model SVC, poprzez odpowiednią optymalizację swoich parametrów, umożliwia określenie szybkości reakcji na zakłócenie. Zadaniem urządzenia SVC jest utrzymywanie zadanego napięcia w PWP. W przeprowadzonych badaniach założono poziom 1,034 p.u. W zależności od „elastyczności" napięciowej PWP z regulacji napięcia wynika zakres regulacji współczynnika mocy.

Na rysunku 8 przedstawiono, jako przykład sposób regulacji napięcia i współczynnika mocy w PWP przez urządzenie SVC.

W symulacji założono 10-procentowy wzrost mocy czynnej FW wynikający z podmuchu wiatru. Na wykresie pokazano wykresy mocy czynnej, mocy biernej oraz napięcia w PWP dla dwóch symulacji przy załączonym i wyłączonym urządzeniu SVC.

Z porównania przebiegów napięcia wynika, że SVC ogranicza znacznie zmiany napięcia w PWP przez zmianę generowanej mocy biernej.

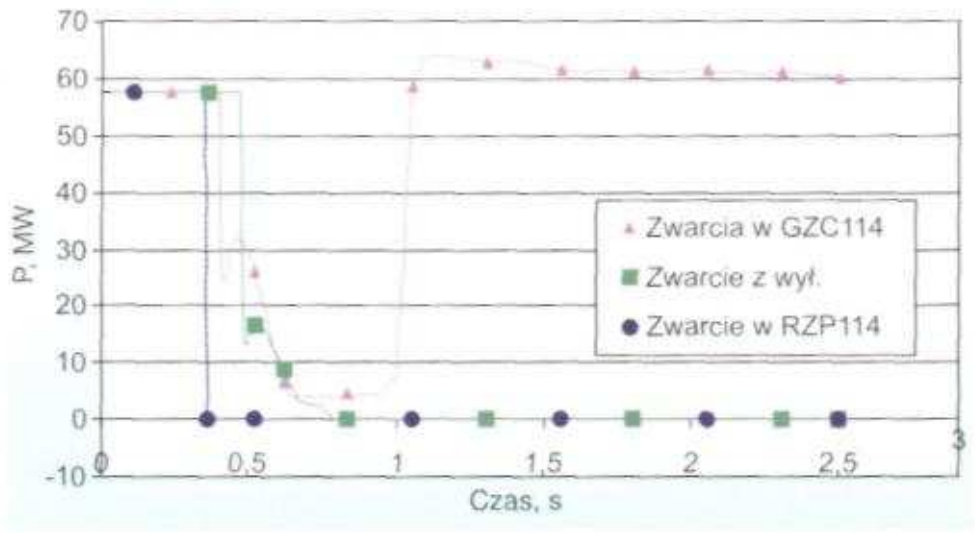
Praca farmy przy zakłóceniach w sieci elektroenergetycznej

Obecnie produkowane SW zapewniają pracę urządzeń podczas stanu zakłóceniowego w zakresie napięć od 15% do 90% napięcia znamionowego dla przedziału czasów od 0,6 s do 10 s (rys. 1). Gwarantuje to spełnienie wymogów IRiESP w tym zakresie. Opracowano odpowiedni algorytm sterowania FW w stanach zakłóceniowych, którego ogólny diagram przedstawiono na rysunku 5.

Na rysunku 9 i 10 przedstawiono przykładowe przebiegi zmian mocy czynnej i biernej FW oraz napięcia w PWP dla wybranych zwarć bliskich i dalekich w sieci 110 kV.

W pierwszym przypadku zwarcie nastąpiło w bliskiej stacji 110 kV/śn (na wykresach „Zwarcie w RZP114"), do której linią 110 kV przyłączona jest FW i trwało 0,5 s. Napięcie spadło do zera, FW została całkowicie wyłączona bezzwłocznie przez zabezpieczenia.

W drugim przypadku zwarcie nastąpiło dwie stacje dalej, w ciągu 110 kV (na wykresach „Zwarcie w GZC114") i trwało 0,5 s, w wyniku obniżenia się napięcia FW zredukowała swoja moc, ale nie nastąpiło wyłączenie jednostek wytwórczych, następnie po powrocie napięcia FW zwiększyła swoja moc do mocy wynikającej z panujących warunków wiatrowych.



Rys. 9. Zmiany mocy czynnej przy założonych zakłóceniach w pobliżu FW

Trzeci przypadek zakłócenia to zwarcie dalsze (na wykresach „Zwarcie z wył") powodujące obniżenie napięcia do podobnej wartości jak w przypadku drugim, ale czas trwania zwarcia wynosił 2,5 s, co zgodnie z charakterystyką pracy zabezpieczeń skutkowało wyłączeniem poszczególnych siłowni wiatrowych.

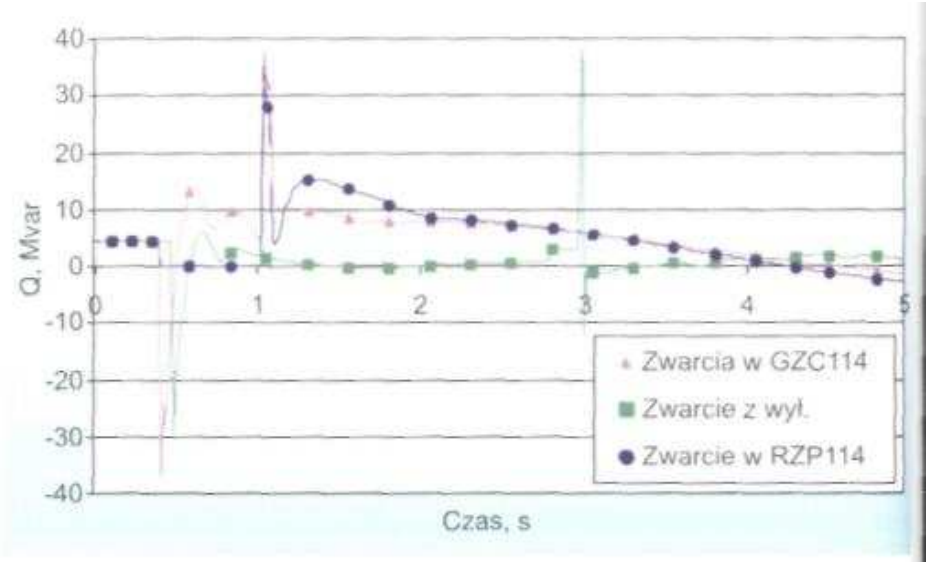
Wnioski

1. Intensywny rozwój energetyki wiatrowej skutkuje znanymi problemami w bieżącej eksploatacji systemów elektroenergetycznych. Operatorzy systemów dla zapewnienia bezpieczeństwa pracy systemów elektroenergetycznych zmuszeni są wprowadzać określone wymagania techniczne dla przyłączanych FW. Wymagania takie wprowadził także *PSE - Operator SA* w IRiESP z 2004 r. Nadal jednak trwają prace na uaktualnieniem tych wytycznych.

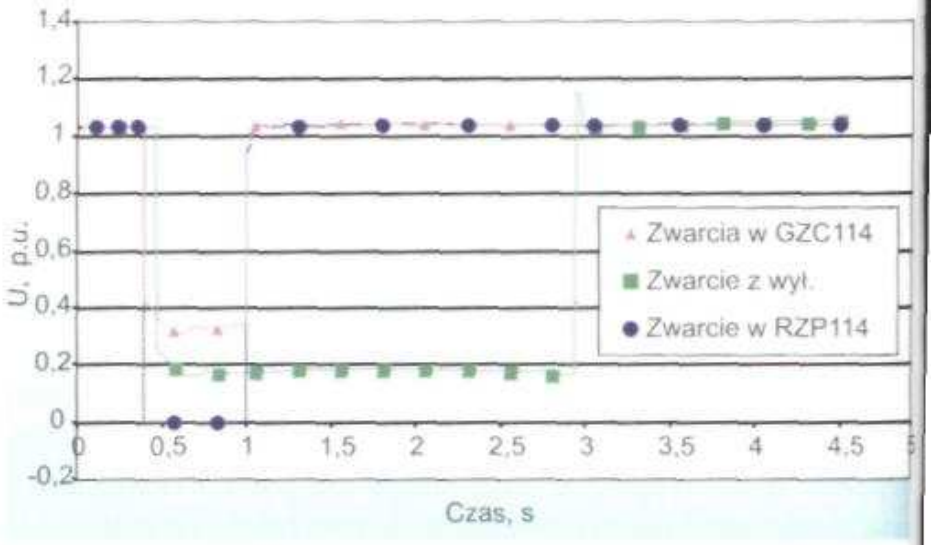
2. Wprowadzane warunki przyłączenia dla nowych i modernizowanych FW wymagają przystosowania FW do regulacji ich parametrów w zależności od stanu pracy systemu. Oznacza to konieczność wyposażenia FW w systemy SCADA oraz automatycznej regulacji

grupowej.

3. Przyłączenie nowych FW powinno skutkować szczegółową analizą ich pracy w określonych obszarach KSE, w stanach normalnych i zakłóceniowych. Badania symulacyjne powinny wskazać algorytmy sterowania rozpatrywaną FW.



Rys. 10. Zmiany mocy biernej przy założonych zakłóceniach w pobliżu FW



Rys. 11. Zmiany napięcia w PWP przy założonych zakłóceniach w pobliżu FW

4. Do badań symulacyjnych należy zastosować modele FW uwzględniające ich rozproszoną strukturę oraz odpowiedni model wiatru. Pozwalają one na opracowanie szczegółowych algorytmów automatycznego sterowania FW w różnych stanach pracy systemu elektroenergetycznego.

5. W badaniach symulacyjnych wykorzystano pakiet programów GE-PSLF [5]. Szerokie możliwości obliczeniowe i techniczne pakietu pozwalają uwzględnić dokładne modele FW oraz ich różnorodne sterowanie. Wymaga to jednak opracowania własnego oprogramowania.

6. Prowadzone są dalsze prace mające na celu doskonalenie opracowanych algorytmów automatycznego sterowania FW w różnych stanach pracy KSE.

7. Wyniki prowadzonych prac symulacyjnych mogą zostać wykorzystane przy opracowaniu rzeczywistych układów sterowania FW planowanych do przyłączenia w KSE.

LITERATURA

[1] Raport grupy zadaniowej UCTE - Energetyka wiatrowa w połączonym systemie elektroenergetycznym. *Elektroenergetyka* 2004, nr4s. 17-39

[2] Instrukcja Ruchu i Eksploatacji Sieci Przesyłowej. *Polskie Sieci Elektroenergetyczne - Operator SA.* Warszawa 29.11.2004

[3] Lubośny Z.: Wind Turbinę Operation in Electric Power Systems. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2003 (tłum. na j. polski - Elektrownie wiatrowe w systemie elektroenergetycznym *WNT,* Warszawa 2006)

[4] Sobczak B., Dąbrowski D., Kąkol A., Mazur M.: Modelowanie i agregacja generacji wiatrowej w badaniach dynamicznych systemu elektroenergetycznego. *Energetyka APE'04,* czerwiec 2004, ss.178-185

[5] Claudia M. Murdoch: PSLF/PLOT Manuals. GE PSLF. Modified 20 January 2005

[6] Nicholas W. Miller, William W. Price, Juan J. Sanchez - Gasca. Stability Modeling of Vestas V80 Wind Turbinę - Generator." GE PSLF, March 2003

[7] „Grid Compliance and how Vestas wind turbines can meet the new grid Codę demands". Materiały Konferencji - Przyłączanie farm wiatrowych do sieci rozdzielczej 110 kV. Straszyn, 28-30.09.2004

[8] Session raports. Study Committees C6. Distribution Systems and Dispersed Generation. CIGRE Session 2004