

doi:10.15199/48.2017.03.04

## ARNQ – koncepcja nowej obszarowej automatyki regulacji napięć wykorzystującej rozproszone źródła mocy biernej

**Streszczenie.** Obecnie w systemie elektroenergetycznym instaluje się coraz więcej rozproszonych źródeł mocy biernej nazwanych jako GRQ, które można wykorzystywać m.in. do regulacji napięć – do GRQ zalicza się w szczególności rozproszone źródła wytwórcze w postaci źródeł: wiatrowych, fotowoltaicznych, kogeneracyjnych, biomasowych oraz przemysłowych kompensatorów mocy biernej i magazynów energii. Wynika stąd potrzeba opracowania koncepcji nowej obszarowej automatyki regulacji napięć wykorzystującej GRQ, którą przedstawiono w ramach niniejszego artykułu.

**Abstract.** Currently in the Polish power system more and more distributed sources of reactive power (GRQ) that can be used to voltage regulation are introduced. These GRQs include, in particular: wind farms, photovoltaic sources, cogeneration power sources, biogas and biofuel sources, industrial reactive power compensators, energy storages etc. From the above mentioned evolves the need to develop a new area automatic voltage regulation using GRQs. The idea of the structure and functionality of such an automatic regulation are presented in this paper. (ARNQ – Concept of a New Area Automatic Voltage Regulation Using Distributed Sources of Reactive Power).

**Słowa kluczowe:** obszarowa automatyka elektroenergetyczna, „nie-klasyczna” regulacja napięcia, źródła wiatrowe, magazyny energii

**Keywords:** area automation of electric power system, voltage regulation, wind sources, energy storage

### Wstęp

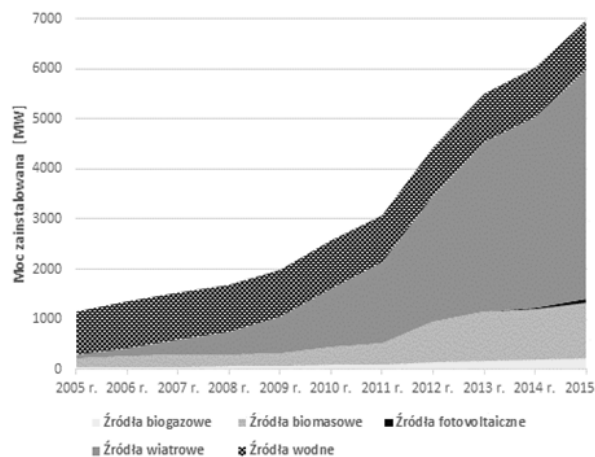
Rozproszone źródła wytwórcze przyłączane i planowane do przyłączenia w Krajowym Systemie Elektroenergetycznym (KSE) zwykle charakteryzują się dobrymi właściwościami w zakresie regulacji generacji mocy biernej. Przewiduje się, że oddziałując na wartość i charakter generowanej mocy biernej tych źródeł wytwórczych, można kształtować poziom napięcia w sieci elektroenergetycznej. Tym samym źródła te potencjalnie mogą świadczyć usługę regulacji napięcia. Duży potencjał w tym zakresie wykazują również kompensatory mocy biernej wielkich odbiorców przemysłowych (źródła mocy biernej obecne w strukturze KSE) oraz magazyny energii (źródła mocy biernej przewidywane w strukturze KSE).

Perspektywy rozwoju GRQ w KSE wyraźnie wskazują na rosnący potencjał możliwości ich wykorzystania do regulacji napięć węzłowych. Aktualnie jednak w KSE nie wykorzystuje się tego typu regulacji. Jest to spowodowane m.in. koniecznością sterowania i koordynowania pracy dużej liczby jednostek GRQ, które mogą być nierównomiernie rozproszone obszarowo i przyłączone do różnych poziomów napięć sieci elektroenergetycznej. Powyższe cechy wskazują na potrzebę zautomatyzowania tego procesu poprzez opracowanie nowej obszarowej (systemowej) automatyki regulacji napięć wykorzystującej GRQ. Przykładową ideę struktury i funkcjonalności takiej automatyki przedstawiono w ramach niniejszego artykułu. Automatykę tę nazwano ARNQ.

### Podstawa wdrożenia ARNQ

W ostatnim okresie obserwuje się stały wzrost mocy zainstalowanej w rozproszonych źródłach wytwórczych. Zgodnie z informacjami publikowanymi przez Urząd Regulacji Energetyki [1], sumaryczna moc zainstalowana w KSE w odnawialnych źródłach energii (OZE), które stanowią podstawową grupę źródeł GRQ, przekracza 6 GW (rys.1) – przy czym warto podkreślić, że największy udział w tej grupie (4 GW) mają źródła wiatrowe w postaci farm wiatrowych (FW). Perspektywy rozwoju innych jednostek zaliczonych do GRQ również są obiecujące. Bezpośrednio wskazuje na to m.in. sumaryczna moc projektowanych instalacji OZE (tab.1). Jest to podyktowane obowiązującymi mechanizmami wsparcia dla tych jednostek a także podejmowanymi działaniami rządowymi zmierzającymi do promocji dalszego rozwoju OZE [3]. Można zatem założyć, że rozwój GRQ będzie kontynuowany i w 2020 r. udział samych OZE w strukturze

sektora wytwórczego KSE przekroczy 10 GW, przy czym należy podkreślić, że w większości będą to źródła wiatrowe. Zatem można przyjąć, że potencjał oddziaływania GRQ na poziom napięć węzłowych będzie znaczący.



Rys.1. Sumaryczna wartość mocy OZE zainstalowanych w KSE na przestrzeni ostatniej dekady [1]

Tabela 1. Projektowane instalacje OZE na podstawie promes koncesji ważnych na początek 2015 r. [2]

Rodzaj źródła	Sumaryczna moc zainstalowana, w [MW]	Liczba instalacji
Źródła biogazowe*	10,0	9
Źródła biomasowe	54,3	13
Źródła fotowoltaiczne	135,4	167
Źródła wiatrowe	4438,8	197
Źródła wodne	2,2	7
Łącznie	4640,6	393

\* nie uwzględniono projektowanych instalacji biogazowych, które podlegają wpisowi do rejestru prowadzonego przez Prezesa ARR

Wobec przedstawionych informacji nasuwa się kilka ważnych pytań dotyczących funkcjonowania KSE z uwzględnieniem znaczącego udziału źródeł rozproszonych w sektorze wytwórczym. W szczególności pytania te obejmują kwestie koordynacji pracy jednostek generacji rozproszonej z klasycznymi jednostkami dużych mocy i występującymi warunkami sieciowymi (m.in. [4-6], [8], [12-17]):

- pytanie 1 – w jaki sposób silnie zwiększający się udział rozproszonych źródeł wytwórczych może wpłynąć na funkcjonowanie KSE – problem rozpoznany i częściowo rozwiązany;
- pytanie 2 – w jaki sposób można „korzystnie” wykorzystać obecność rozproszonych źródeł wytwórczych w strukturze KSE – problem częściowo rozpoznany i nierozwiązany;
- pytanie 3 – czy istnieje taka możliwość i w jaki sposób można „korzystnie” wykorzystać kompensatory mocy biernej dużych odbiorców przemysłowych – problem słabo rozpoznany i nierozwiązany;
- pytanie 4 – w jaki sposób kształtować stanowisko operatorów sieciowych w sprawie przyłączania magazynów energii do struktur KSE – problem słabo rozpoznany i nierozwiązany.

Wobec tego wydaje się, że konieczne jest odpowiednie przygotowanie się operatorów sieciowych do nowych warunków pracy sieci, przykładowo poprzez zdefiniowanie nowych narzędzi i mechanizmów, które umożliwią wykorzystanie GRQ do świadczenia usług systemowych w postaci regulacji napięć węzłowych. Wymaga to jednak przygotowania odpowiednich układów automatyki mających możliwość nadzoru i sterowania pracą stosunkowo dużej liczby jednostek GRQ współpracujących z siecią w sposób rozproszony. Takim układem jest proponowany układ automatyki ARNQ.

#### Nowa automatyka regulacji napięć węzłowych ARNQ

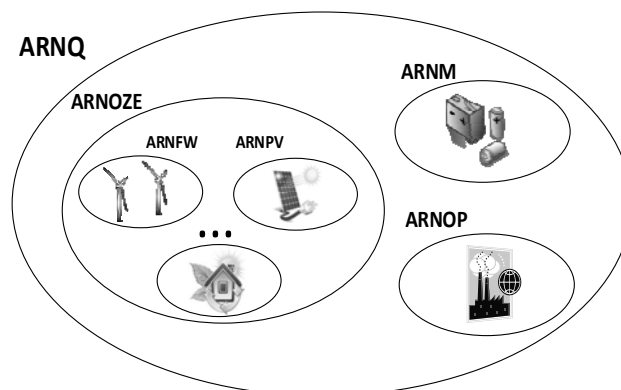
Zaadoptowanie powstałego i powstającego w KSE potencjału regulacyjnego mocy biernej w postaci GRQ do świadczenia usług systemowych wymaga opracowania dedykowanej obszarowej automatyki elektroenergetycznej. Jest nią proponowany układ automatyki regulacji napięć węzłowych ARNQ. Podstawowym zadaniem tej automatyki jest wsparcie w kształtowaniu poziomu napięć węzłowych przy wykorzystaniu możliwości produkcji mocy biernej w GRQ. W sposób schematyczny strukturę automatyki ARNQ przedstawiono na rysunku 2.

Duża różnorodność konstrukcyjna GRQ wymusza różne algorytmy sterowania poszczególnymi rodzajami źródeł, uwzględniające ich cechy konstrukcyjne, dyspozycyjność (możliwość produkcji mocy biernej w zależności od warunków atmosferycznych i aktualnie produkowanej wartości mocy czynnej). W związku z tym zaproponowana struktura automatyki ARNQ ma charakter warstwowy z podziałem na elementy składowe. Głównymi elementami składowymi ARNQ są:

- ARNFW – automatyka regulacji napięć węzłowych wykorzystująca FW;
- ARNPV – automatyka regulacji napięć węzłowych wykorzystująca źródła fotowoltaiczne;
- ARNOP – automatyka regulacji napięć węzłowych wykorzystująca duże źródła mocy biernej (np. kompensatory) zainstalowane u wielkich odbiorców przemysłowych [5];
- ARNM – automatyka regulacji napięć węzłowych wykorzystująca magazyny energii [6] [7];
- ARNBIO – automatyka regulacji napięć węzłowych wykorzystująca źródła biogazowe i na biomasę.

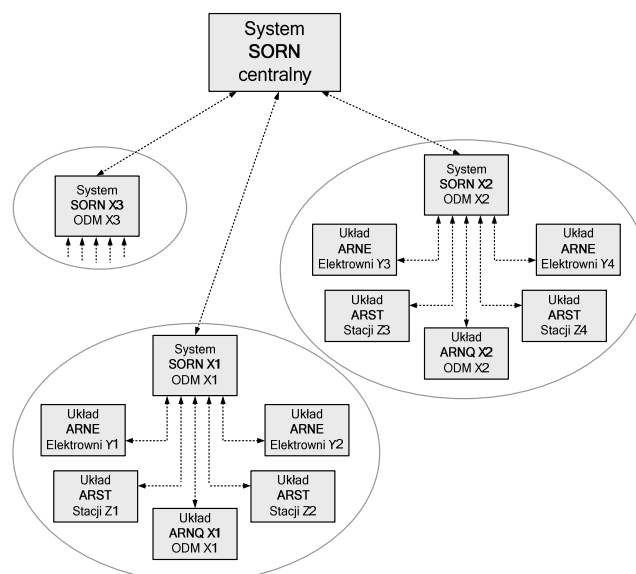
Przyjęta koncepcja podziału ARNQ na ARNOZE (w tym m.in. ARNFW, ARNPV, ARNBIO), ARNM i ARNOP pozwala traktować ARNQ jako system złożony z wielu elementów cząstkowych o wyraźnie rozdzielonej funkcjonalności. Umożliwia to etapowe i oddzielne wdrażanie automatów składowych ARNQ. Wdrażanie to może odbywać się nadążnie (tj. w odpowiedzi na zaistniałe zmiany w KSE) lub predykcyjnie (tj. z wyprzedzeniem, uwzględniając prognozowane zmiany w strukturze

wytwórczej KSE). Przykładowo, nadążne wdrożenie dotyczy automatyki ARNFW, jako wykorzystanie potencjału już istniejących źródeł wiatrowych. Natomiast predykcyjne wdrożenie dotyczy m.in. ARNPV i ARNM. Takie podejście pozwala m.in. z odpowiednim wyprzedzeniem sformułować wymagania IRIESP/IRiESD umożliwiające wykorzystanie – odpowiednio – np. źródeł fotowoltaicznych i zasobników (magazynów) energii do kształtowania poziomu napięć węzłowych sieci.



Rys.2. Schemat ideowy proponowanej automatyki ARNQ

Z punktu widzenia lokalizacji ARNQ w strukturach automatyki elektroenergetycznej KSE zakłada się powiązanie działania ARNQ z automatykami regulacji napięć obecnie stosowanymi w KSE, tj.: układami regulacji nadrzędnej węzłów wytwórczych ARNE (układ automatycznej regulacji napięcia elektrowni) i regulacji grupowej węzłów transformatorowych ARST (układ automatycznej regulacji stacji transformatorowej). Ponadto zaleca się współpracę ARNQ z wielkoobszarowymi systemami regulacji napięcia (przykładowo z Systemem Obszarowej Regulacji Napięcia SORN [8]). Przewiduje się, że w niedalekiej przyszłości systemy tego typu będą wdrożone w KSE. Przykładowy sposób powiązania ARNQ z systemem nadrzędnej regulacji napięcia (SORN) i równorzędnymi systemami regulacji napięcia (ARNE i ARST) przedstawiono na rysunku 3.



Rys.3. Przykładowy sposób powiązania ARNQ z nadrzędnym (SORN) i równorzędnymi systemami regulacji napięcia (ARST, ARNE)

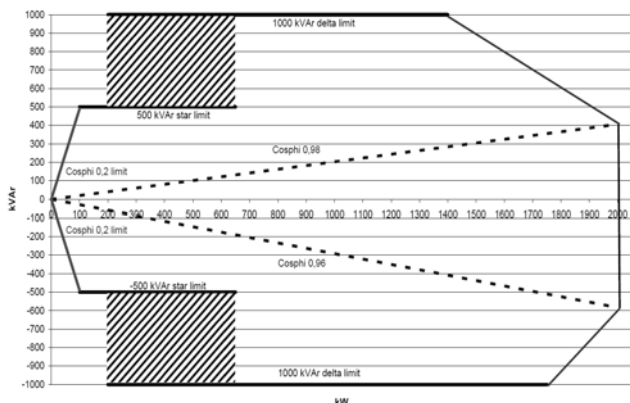
Z przeprowadzonych studiów literaturowych oraz autorskich analiz dotyczących możliwości regulacji mocy biernej GRQ wynika, że duży potencjał w tym obszarze wykazują FW. Jest to podyktowane ich zdolnościami technicznymi do produkcji mocy biernej, znaczącym obecnym udziałem w sektorze OZE i przewidywanym dalszym szybkim rozwojem. Mając na uwadze powyższe, w dalszej części artykułu rozpatrywania dotyczące skoncentrowano się na ARNFW, jako ważnym składniku ARNQ. Przedstawiono wyniki wstępnych analiz dotyczących możliwości wykorzystania FW do regulacji wartości i charakteru generowanej mocy biernej, a także wstępnego ich przygotowania do świadczenia usług systemowych w zakresie regulacji napięć wynikającym m.in. z zapisów IRIESP [9] oraz IRIESD [10]. Podkreśla się, że idea wykorzystania i funkcjonalności pozostałych elementów składowych automatyki ARNQ, tj. ARNPV, ARNOP, ARNM, ARNBIO itd. będzie koncepcyjnie zbieżna do ARNFW.

### Analiza zdolności generacji i regulacji mocy biernej FW

Wśród rozwiązań konstrukcyjnych turbin wiatrowych obecnie instalowanych w FW można wyróżnić:

- źródła wiatrowe z generatorem asynchronicznym dwustronnie zasilanym, tzw. DFIG (przykładową charakterystykę zdolności generacji mocy biernej przedstawiono na rysunku 4);
- źródła wiatrowe z pełnoskalowym przekształtnikiem w torze wyprowadzenia mocy (przykładową charakterystykę zdolności generacji mocy biernej przedstawiono na rysunku 5).

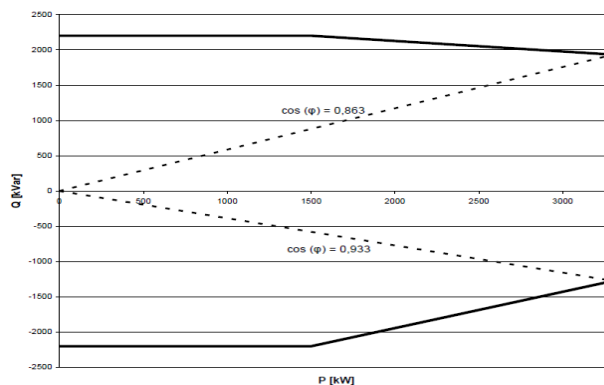
Wymienione rodzaje źródeł wiatrowych wykazują możliwość generacji mocy biernej o dowolnym charakterze w szerokim zakresie wartości.



Rys.4. Przykładowa charakterystyka zdolności generacji mocy biernej turbiny wiatrowej z generatorem DFIG [11]

Porównanie charakterystyk zamieszczonych na rysunkach 4 i 5 wskazuje, że źródła wiatrowe z pełnoskalowym przekształtnikiem w torze wyprowadzenia mocy zwykle charakteryzują się lepszymi zdolnościami generacji mocy biernej niż źródła z generatorami DFIG. Należy również podkreślić, że źródła wiatrowe z pełnoskalowym przekształtnikiem w torze wyprowadzenia mocy często oferują możliwość generacji mocy biernej przy zerowej generacji mocy czynnej. W takim przypadku generacja mocy biernej może się odbywać niezależnie od warunków wietrznych. Rozwiązanie to daje duże możliwości regulacji napięć węzłowych i tym samym może znacząco zwiększać bezpieczeństwo pracy sieci – przykładowo – w awaryjnych stanach pracy KSE. Należy jednak podkreślić, że dostępność opcji generacji mocy biernej przez źródło wiatrowe przy zerowej generacji mocy czynnej jest determinowana polityką sprzedażową producenta. Dla

niektórych turbin wiatrowych opcja ta jest dostępna w standardzie, natomiast w turbinach wiatrowych innych producentów może to wymagać dodatkowej opłaty.



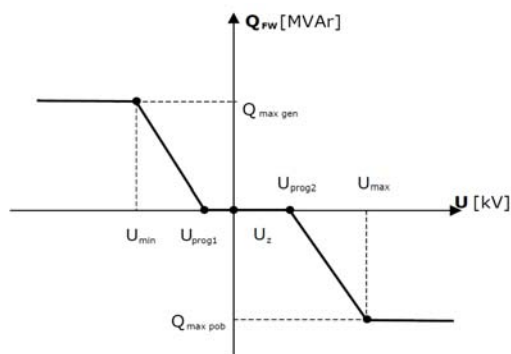
Rys.5. Przykładowa charakterystyka zdolności generacji mocy biernej turbiny wiatrowej z przekształtnikiem pełnoskalowym [11]

Źródłami mocy biernej na FW, oprócz turbin wiatrowych, mogą być również statyczne źródła mocy biernej (w postaci baterii kondensatorów lub dławików zainstalowanych w wewnętrznej strukturze FW). W procesie regulacji w pierwszej kolejności wykorzystuje się jednak możliwość szybkiej regulacji generatorowej (turbiny wiatrowej). Dopiero w drugiej kolejności aktywowana jest „powolna” regulacja za pomocą kompensatorów.

Regulacja mocy biernej FW dokonywana jest względem punktu przyłączenia FW do KSE i może odbywać się według jednego z trzech kryteriów regulacji:

- utrzymania zadanego poziomu napięcia;
- generacji mocy biernej o ustalonej wartości i charakterze;
- utrzymania zadanego poziomu współczynnika mocy ( $\cos\phi$ ) – generowana wartość mocy biernej zależy bezpośrednio od wartości mocy czynnej generowanej przez FW.

Z punktu widzenia udziału FW w procesie regulacji napięcia pożądanym kryterium regulacji jest kryterium utrzymania zadanego poziomu napięcia. W kryterium tym regulator FW steruje wartością i charakterem generowanej mocy biernej (zgodnie z zadaną charakterystyką – rysunek 6) w taki sposób, aby wartość napięcia w punkcie przyłączenia FW jak najmniej odbiegała od poziomu zadanego.



Rys.6. Poglądowa charakterystyka statyczna regulacji napięcia FW przyłączonej do sieci NN lub WN [9]

Charakterystyka regulacyjna FW przedstawiona na rysunku 6 jest określona przez wartości:  $U_z$  – wartość zadana napięcia w miejscu przyłączenia FW zawarta w przedziale  $U_{prog1} \leq U_{prog2}$ ,  $U_{prog1}$  – wartość napięcia regulowanego w miejscu przyłączenia FW, poniżej której rozpoczyna się generacja mocy biernej;  $U_{prog2}$  – wartość

napięcia regulowanego w miejscu przyłączenia FW, powyżej której rozpoczyna się pobieranie mocy biernej;  $U_{\min}$  – minimalna wartość napięcia regulowanego w miejscu przyłączenia FW, przy której jest generowana maksymalna moc bierna;  $Q_{\max gen}$  – maksymalna dopuszczalna wartość generacji mocy biernej przez FW przy danym poziomie generacji mocy czynnej;  $U_{\max}$  – maksymalna wartość napięcia regulowanego w miejscu przyłączenia FW, przy której jest pobierana maksymalna moc bierna;  $Q_{\max pob}$  – maksymalna dopuszczalna wartość poboru mocy biernej przez FW przy danym poziomie generacji mocy czynnej.

Punkty charakterystyczne krzywej regulacji (rys.6) powinny być ustalone indywidualnie dla każdej przyłączanej FW, zależnie m.in. od wielkości FW, napięcia znamionowego oraz miejsca jej przyłączenia w systemie elektroenergetycznym, a także występujących warunków atmosferycznych. Z punktu widzenia ostatniego kryterium przy określaniu punktów charakterystyki  $Q = f(U)$  można wyróżnić dwa zasadnicze przypadki [12]:

- przypadek pierwszy, gdy turbina wiatrowa ma możliwość produkcji mocy biernej w pełnym zakresie niezależnie od wartości produkowanej mocy czynnej; wówczas wartości graniczne  $Q_{\max gen}$  i  $Q_{\max pob}$  są stałe – znacznie ułatwia to określenie ich wartości i proces regulacji;
- przypadek drugi, gdy turbina wiatrowa nie ma możliwość produkcji mocy biernej niezależnie od wartości produkowanej mocy czynnej; wówczas wartości graniczne  $Q_{\max gen}$  i  $Q_{\max pob}$  nie są stałe, gdyż zależą od wartości generowanej mocy czynnej – znacząco komplikuje to określenie tych wartości i sam procesu regulacji napięcia.

Drugi przypadek oznacza, że zapas regulacji mocy biernej dostępnej dla danej FW może być znacznie ograniczony oraz zależny od stanu pracy FW i prognoz warunków atmosferycznych dla FW.

Podsumowując rozważania dotyczące dostępnego zakresu i możliwości regulacji mocy biernej źródeł wiatrowych stwierdza się, że możliwości regulacji mocy biernej FW są stosunkowo duże. Niemniej, z punktu widzenia realizacji automatyki ARNQ, ARNFW będzie musiała w sposób nadążny, indywidualnie dla każdej FW, wyznaczać dostępny zakres regulacji mocy biernej dla danego rozpatrywanego węzła sieciowego.

### **Wymagania operatorów sieciowych dla źródeł wiatrowych w zakresie produkcji mocy biernej**

Wymagania dla FW w zakresie regulacji napięć i mocy biernych sformułowano w IRIESP/IRIESD [9, 10], przy czym w analizowanym zakresie większość zapisów IRIESD jest w głównej mierze powieleniem i rozszerzeniem zapisów IRIESP. Najważniejsze wymagania dla FW zawarte ww. dokumentach, dotyczące możliwości zdalnego sterowania generacją mocy biernej, są następujące:

- FW powinna być wyposażona w system sterowania oraz regulacji mocy biernej i napięcia przystosowany do zdalnego sterowania w „czasie rzeczywistym” zgodnie ze standardami właściwego operatora systemu;
- FW musi posiadać zdolność do generacji mocy biernej, w wielkości wynikającej ze współczynnika mocy wymaganego dla mocy osiągalnej, w miejscu przyłączenia FW w granicach od  $\cos\varphi = 0,95$  ind. do  $\cos\varphi = 0,95$  poj.;
- przy pracy FW z mocą czynną niższą od mocy znamionowej należy udostępnić całą dostępną moc bierną;
- w trybie autonomicznym system sterowania oraz regulacji napięcia i mocy biernej FW powinien posiadać zdolność do pracy wg kryteriów regulacji:
  - tryb regulacji mocy biernej (w miejscu przyłączenia);
  - tryb regulacji napięcia (w miejscu przyłączenia) zgodnie z charakterystyką statyczną  $Q = f(U)$  (rys.6);

- system sterowania oraz regulacji napięcia i mocy biernej FW powinien być przystosowany do pracy skoordynowanej z nadrzędnym układem regulacji napięcia i mocy biernej, zainstalowanym w stacji elektroenergetycznej;
- w celu umożliwienia współpracy z nadrzędnym układem regulacji napięcia i mocy biernej należy zapewnić dedykowany kanał komunikacyjny oraz możliwości przyjmowania do realizacji wartości zadanych mocy biernej przez zewnętrzny system sterowania.

Podsumowując przedstawione treści zapisów IRIESP/IRIESD stwierdza się, że źródła te mają możliwość realizacji zdalnego sterowania generacją mocy biernej i są przystosowane do współpracy z nadrzędnym układem regulacji. Tym samym stwarza to możliwości wykorzystania tych źródeł do świadczenia usług systemowych w ramach współpracy z ARNQ (ARNFW).

### **Idea funkcjonalności ARNFW**

Przeprowadzone rozważania zdolności generacji i możliwości regulacji mocy biernej FW, potwierdzone szeregiem szczegółowych analiz przedstawionych w publikacjach [13-19], pozwalają wnioskować, że FW potencjalnie mogą być wykorzystywane do realizacji następujących zadań [6]:

- regulacji napięć węzłowych obszaru sieciowego z przyłączonymi źródłami wiatrowymi w stanach normalnych i awaryjnych pracy sieci;
- ograniczenia strat mocy obszaru sieciowego z przyłączonymi źródłami wiatrowymi (minimalizacja przepływów mocy biernej);
- ograniczenia wahań napięcia obszaru sieciowego z przyłączonymi źródłami wiatrowymi powodowanych zmiennością gałęziowych przepływów mocy;
- zwiększenia zapasu stabilności napięciowej obszaru sieciowego z przyłączonymi źródłami wiatrowymi.

W oparciu o zdefiniowany zbiór zadań możliwych do realizacji przez proponowaną automatykę regulacji napięć FW (ARNFW) określono podstawową ideę funkcjonalności tego systemu automatyki. Ogólnie ujmując, zaproponowana strategia sterowania generacją mocy biernej FW powinna opierać się na obszarowym kryterium napięciowym. Przewiduje się, że system automatyki ARNFW powinien wyznaczać optymalny rozkład napięć w dużym obszarze sieciowym z uwzględnieniem ograniczeń sieciowych dotyczących m.in. wartości produkowanej mocy biernej i sytuacji sieciowej występującej aktualnie w rozległym otoczeniu sieciowym wokół miejsca przyłączenia FW. Wyznaczony w ten sposób rozkład napięć węzłowych powinien być utrzymany przez odpowiednie wystrojenie regulatorów mocy biernej poszczególnych FW. Podkreśla się jednak, że w celu uzyskania pozytywnego oddziaływania na KSE sposób sterowania ARNFW wartością mocy biernej generowanej w FW powinien uwzględniać szereg ograniczeń wynikających z uwarunkowań sieciowych oraz możliwości w zakresie generacji mocy biernej (w tym dostępności w procesie regulacji) FW już pracujących w KSE oraz FW nowobudowanych – wynikający z różnorodności ich rozwiązań.

### **Uwagi końcowe, rekomendacje i korzyści z wdrożenia ARNQ (ARNFW)**

Założenia dotyczące perspektyw rozwoju GRQ wyraźnie wskazują, że na przestrzeni najbliższej dekady sumaryczna moc zainstalowana w tych źródłach osiągnie poziom, który może mieć znaczący wpływ na pracę KSE. Rekomenduje się zatem wykorzystanie tych źródeł do wspomaganie pracy KSE. Przedstawione rozważania wskazują, że już obecnie GRQ (w szczególności FW i kompensatory dużych

odbiorców przemysłowych) mogą być nowym środkiem służącym do sterowania napięciami i rozptyłami mocy biernej w KSE. Optymalne wykorzystanie ich zdolności – przykładowo w zakresie regulacji napięć – wymaga stworzenia nowej automatyki ARNQ, tj. automatyki regulacji napięć węzłowych wykorzystującej zdolności (możliwości) sterowania mocą bierną przy użyciu GRQ.

Systemy sterowania i regulacji funkcjonujących i nowobudowanych FW oraz istniejąca infrastruktura teleinformatyczna w KSE już obecnie stwarza możliwość realnego i szerokiego wykorzystania FW (przy stosunkowo niewielkich nakładach finansowych) jako źródeł mocy biernej w procesie regulacji napięć węzłowych z wykorzystaniem sterownika nadrzędnego. Przy czym podkreśla się, że skuteczność regulacji napięcia (oprócz znacznego potencjału wynikającego z sumarycznej mocy zainstalowanej w energetyce wiatrowej) jest ściśle powiązana ze zdolnościami produkcji mocy biernej FW. Przeprowadzone studia literaturowe wskazują na dużą różnorodność rozwiązań i tym samym różne zdolności produkcji mocy biernej aktualnie budowanych FW. Najlepsze zdolności regulacyjne wykazują FW, które mają możliwość generacji mocy biernej w pełnym zakresie zmian nawet przy zerowej generacji mocy czynnej. Dostępność takiej funkcjonalności jest jednak w wielu przypadkach ograniczona. Odgórne wprowadzenie wymogu generacji mocy biernej przez źródło wiatrowe przy zerowej generacji mocy czynnej może być niejednokrotnie trudne do spełnienia przez inwestora z uwagi na dodatkowe obciążenia finansowe [12]. Dlatego sugeruje się wprowadzenie zachęt dla inwestorów oferujących możliwość generacji mocy biernej FW w pełnym zakresie w tym również przy zerowej wartości generowanej mocy czynnej.

W zakresie wykorzystania FW do regulacji napięć węzłowych przewiduje się wdrożenie dedykowanej do tego celu obszarowej automatyki ARNFW, która może być traktowana jako jeden z elementów składowych ARNQ. W miarę rozwoju rozproszonego sektora wytwórczego KSE, funkcjonalność ARNQ powinna być wzbogacana o dodatkowe, analogiczne funkcjonalności automatyki regulacji napięć, przykładowo: ARNPV (system automatyki przeznaczony do sterowania generacją mocy biernej źródeł fotowoltaicznych), ARNOP (system automatyki przeznaczony do sterowania kompensatorami mocy biernej wielkich odbiorców przemysłowych itp.

Przewiduje się, że wdrożenie tego typu układów automatyki będzie stanowić znaczące rozszerzenie zdolności regulacyjnych w KSE. Szacuje się, że – tylko z tytułu wdrożenia ARNFW – pojawią się następujące korzyści:

- dodatkowa dyspozycyjność kilku Gvar mocy biernej regulowanej zarówno co do wartości, jak i charakteru, w sposób nadążny do zmieniających się warunków napięciowych w sieci;
- zmniejszenie spadków napięć i strat w sieci – rozproszona regulacja poziomu napięcia może ograniczyć znacząco wartość przesyłanej mocy biernej, gdyż może być dokonywana w sposób rozproszony w głębi sieci, tj. w miejscach odległych od klasycznych stacji wytwórczych lub stacji systemowych;
- zwiększenie zapasu stabilności napięciowej na skutek obecności dodatkowych sterowalnych źródeł mocy biernej;
- ograniczenie inwestycji w zakresie budowy nowych sieciowych kompensatorów energii biernej w postaci dławików lub baterii kondensatorów statycznych dużych mocy (przykładowo 50 Mvar) i tym samym ograniczenie niekorzystnych (niejednokrotnie niebezpiecznych) stanów przejściowych występujących podczas załączania tych

elementów – mogących powodować nawet zbędne wyłączenia w układzie sieciowym;

- znaczące uproszczenie gospodarki mocą bierną prowadzonej przez operatorów sieciowych z uwagi na możliwości zdalnego i rozproszonego (lokalnego) reagowania na występujące stany zakłóceń i awaryjne.

**Autorzy:** prof. dr hab. inż. Adrian Halinka, dr inż. Piotr Rzepka, E-mail: [Piotr.Rzepka@polsl.pl](mailto:Piotr.Rzepka@polsl.pl); dr inż. Mateusz Szablicki, Politechnika Śląska, Wydział Elektryczny, Instytut Elektroenergetyki i Sterowania Układów

## LITERATURA

- [1] Sprawozdanie z działalności prezesa Urzędu Regulacji Energetyki w 2014 r., *Biuletyn Urzędu Regulacji Energetyki*, IV (2014)
- [2] <http://www.ure.gov.pl/> – portal Urzędu Regulacji Energetyki (Potencjał krajowy OZE w liczbach)
- [3] Polityka energetyczna Polski do 2030 roku, Załącznik do uchwały nr 202/2009 Rady Ministrów, Warszawa 10 XI (2009)
- [4] Lubośny Z.: Farmy wiatrowe w systemie elektroenergetycznym. *WNT*, Warszawa (2009)
- [5] Małkowski R., Szczerba Z.: Wykorzystanie możliwości regulacyjnych mocy biernej wielkich odbiorców. *Acta Energetica*, nr 1 (2014), 114-119
- [6] Maiko J.: Magazynowanie energii – nowe technologie. *Nowa Energia*, nr 2-3 (2015)
- [7] Marszałkiewicz K., Grządzielski I., Trzeciak A., Maćkowiak M.: Testy i próby sprawdzające parametry techniczne elektrowni i farm wiatrowych. Wybrane zagadnienia. Konferencja Aktualne Problemy w Elektroenergetyce, Jurata, 12-14 czerwiec (2013)
- [8] [ien.gda.pl](http://ien.gda.pl) – strona internetowa Instytutu Energetyki Oddział Gdańsk (Regulacja napięcia w sieci przesyłowej i dystrybucyjnej)
- [9] IRIESP – Instrukcja Ruchu i Eksploatacji Sieci Przesyłowej, Warunki korzystania, prowadzenia ruchu, eksploatacji i planowania rozwoju sieci. Wersja 2.0. Tekst obowiązujący od dnia: 1 sierpnia 2014 roku. Dostęp w Internecie: <http://www.pse.pl>
- [10] IRIESD – Instrukcja Ruchu i Eksploatacji Sieci Dystrybucyjnej. TAURON Dystrybucja z dnia 01 stycznia 2014 r. Dostęp w Internecie: <http://www.tauron-dystrybucja.pl>. (oraz IRIESD innych spółek dystrybucyjnych)
- [11] Karty katalogowe: Electrical Data Vestas V90-1.8/2.0 MW; Electrical Data Vestas V117-3.3 MW
- [12] Kołodziej D., Klucznik J.: Wykorzystanie FW do regulacji napięcia i mocy biernej na przykładzie węzła Dunowo. *Acta Energetica*, nr 1 (2014), 59–66
- [13] Halinka A., Rzepka P., Szewczyk M., Szablicki M.: Przyłączanie farm wiatrowych – potrzeba nowego podejścia do sposobu funkcjonowania automatyki elektroenergetycznej sieci WN, *Przegląd Elektrotechniczny*, 87 (2011), nr 9a, 218-221
- [14] Halinka A., Rzepka P., Szablicki M.: State identification of MV power network with wind power generation operating under manual and automatic voltage control in HV/MV substation. *Przegląd Elektrotechniczny*. 91 (2015), nr 6, 126-128
- [15] Halinka A., Rzepka P., Szablicki M.: Zmienność napięć stacji WN/SN z przyłączonymi źródłami wiatrowymi. Cz. 1/Cz. 2 *Elektro.info* (2015) nr 1-2/3, 42-44 (56-59)
- [16] Opila D.F., Zeynu A.M., Hiskens I.A.: Wind farm reactive support and voltage control. Bulk Power System Dynamics and Control - VIII (2010) iREP Symposium, 1-6 Aug. (2010), 1-10
- [17] Publikacja zbiorowa: Reactive Power Performance Requirements for Wind and Solar Plants. Power and Energy Society General Meeting, (2012) IEEE, 22-26 July (2012), 1-8
- [18] Zhai J., Haoming L.: Reactive Power Control Strategy of DFIG Wind Farm for Regulating Voltage of Power Grid. PES General Meeting | Conference & Exposition, July 2014 *IEEE*, 1-5
- [19] Sharma P., D. Thukaram.: Reactive power and voltage control in grid connected wind farms. Industrial and Information Systems, (2012) 7th *IEEE International Conference*, on. 6-9 august (2012), 1-6