

Grzegorz TRZMIEL*

ANALIZA METOD REGULACJI MOCY W ELEKTROWNIACH WIATROWYCH

W artykule przedstawiono charakterystykę najbardziej znanych metod regulacji mocy oddawanej przez elektrownie wiatrowe. Zwrócono szczególną uwagę na zalety i wady poszczególnych rozwiązań oraz ich ewentualne powiązania z systemami sterowania siłownią wiatrową.

SŁOWA KLUCZOWE: elektrownia wiatrowa, system sterowania, regulacja mocy

1. WPROWADZENIE

Podstawowym parametrem pozwalającym dokonać analizy lub oceny warunków wiatrowych występujących na danym obszarze jest, określana na podstawie znormalizowanych i wieloletnich pomiarów, średnia sezonowa lub roczna prędkość wiatru. W zależności od rodzaju zastosowanej turbiny (rozwiązania technicznego) prędkość ta musi przekraczać 3 – 4 m/s. Dodatkowym, istotnym elementem są dane na temat sezonowej zmienności energii wiatru. Dla obszaru Polski zmienność sezonowa polega na tym, że w sezonie letnim wiatr wieje z prędkościami wynoszącymi średnio około 50 – 70% średnich prędkości rocznych. Zimą natomiast prędkości wiejącego wiatru wynoszą około 150 – 170% średnich prędkości rocznych.

Współczesne turbiny wiatrowe składają się z wielu elementów. Produkcja turbin wiatrowych to proces wysoce skomplikowany i specjalistyczny, podzielony na kilka etapów. Całkowicie wyodrębniona została produkcja łopat wirnika, wykonanych z wysoko przetworzonych materiałów kompozytowych, za pomocą specjalistycznych technologii i najnowocześniejszych rozwiązań technicznych. Kolejnymi etapami są procesy produkcji wież, układów mechanicznych siłowni, układów przekładniowych oraz elektronicznych urządzeń i systemów kontrolnych.

Przyłączenie farmy wiatrowej do systemu elektroenergetycznego, podobnie jak i innych dużych obiektów, ma wpływ na pracę sieci. Przede wszystkim zmianie mogą ulec napięcia w węzłach systemu, a także rozpięty mocy czynnej

* Politechnika Poznańska.

i biernej. Innym czynnikiem jest zmiana warunków pracy zabezpieczeń wynikająca ze zmian wartości zakłóceń np. poprzez zmianę wartości prądów zwarciovych. Elektrownia wiatrowa jest tzw. niespokojnym źródłem energii elektrycznej, co oznacza, że przy jej normalnym funkcjonowaniu mogą występować ciągłe zmiany stanu jej pracy, co znacząco wpływa na pracę całego systemu elektroenergetycznego. Ma to również wpływ na jakość energii elektrycznej. Dlatego sposób przyłączenia takiego obiektu do sieci wymaga dogłębnego przeanalizowania wielu parametrów, które w późniejszym czasie będą wpływały na pracę elektrowni w systemie oraz pracę samego systemu elektroenergetycznego.

2. SYSTEMY STEROWANIA SIŁOWNIAMI WIATROWYMI

Ze względu na bardzo częste zmiany prędkości i kierunku wiatru elektrownie wiatrowe wyposażone zostały w automatyczne układy regulacji, które dopasowują parametry pracy turbiny do aktualnych warunków wietrznych. Pozwala to zwiększyć uzysk energetyczny, a tym samym zmaksymalizować efektywność ekonomiczną farmy wiatrowej. Innym ważnym zadaniem automatycznych systemów sterowania jest zapewnienie bezpieczeństwa konstrukcji, co oznacza, że przy zbyt silnym wietrze lub innych niekorzystnych warunkach układy te odłączają turbinę wiatrową. Układy sterowania mogą oddziaływać na turbinę (koło wiatrowe) lub też na generator, a właściwie na przekształtnik energoelektroniczny. Ogólnie wyróżnia się dwie podstawowe metody sterowania elektrownią wiatrową [3, 5]: ze stałym wyróżnikiem szybkobieżności oraz ze śledzeniem mocy maksymalnej.

Wyróżnik szybkobieżności jest to parametr wyliczany na podstawie prędkości wiatru i prędkości wirnika, które mierzone są w sposób ciągły. Wartość tego współczynnika jest zestawiana z tzw. wartością optymalną, która jest również wartością zadaną. Zadaniem regulatora, do którego doprowadzany jest sygnał błędu, jest zmiana prędkości wirnika turbiny w taki sposób, aby istotnie ograniczyć powyższy uchyb. Z reguły wartość optymalną otrzymuje się z charakterystyki mocy turbiny, która została zaprogramowana w pamięci regulatora. Często bywa też tak, że parametr ten posiada jedną, niezmienną wartość, zdefiniowaną w pamięci. Jedną z największych wad tego sposobu sterowania jest niedokładność pomiaru prędkości wiatru ze względu na fakt umieszczenia układu pomiarowego na gondoli, w bardzo małej odległości od koła wiatrowego. Kolejnym problemem jest zabrudzenie, oblodzenie lub zjawisko starzenia się powierzchni łopat wirnika. Wpływa to na zmianę rzeczywistej charakterystyki mocy, co utrudnia wyliczenie i ustawienie optymalnego wyróżnika szybkobieżności. System ten, pomimo swoich wad jest obecnie bardzo często stosowany w elektrowniach wiatrowych [1, 5].

W systemie sterowania ze śledzeniem mocy maksymalnej wykorzystuje się fakt, iż charakterystyka moc – prędkość wirnika posiada jedno wyraźne maksimum, $dP/d\omega = 0$. W trakcie pracy turbiny wiatrowej prędkość wirnika jest stale zmniejszana lub zwiększana o nieduże wartości. Dodatkowo stale mierzona jest moc czynna elektrowni. W sytuacji, kiedy pochodna mocy czynnej po prędkości wirnika ma wartość dodatnią ($dP/d\omega > 0$) następuje dalsze zwiększanie prędkości wirnika. Natomiast, jeżeli pochodna ta przybiera wartość ujemną ($dP/d\omega < 0$), prędkość wirnika zmniejsza się. Kiedy turbina znajduje się w punkcie pracy, w którym ze strumienia powietrza uzyskiwana jest maksymalna moc, pochodna mocy jest równa w przybliżeniu zeru ($dP/d\omega \approx 0$). Zaletą tego typu systemu sterowania pracą elektrowni wiatrowej jest bardzo mała wrażliwość na zmiany charakterystyki łopatek oraz na błędy pomiaru prędkości wiatru. W nowoczesnych elektrowniach wiatrowych system ten bywa również stosowany, jednak rzadziej, niż sterowanie ze stałym wyróżnikiem szybkoobrotowości.

Oba wyżej opisane sposoby sterowania elektrowniami wiatrowymi są wykorzystywane tylko i wyłącznie przy obciążeniu częściowym elektrowni. Częściowe obciążenie elektrowni jest to stan, w którym wartość prędkości wiatru jest z przedziałów pomiędzy prędkością startową a prędkością znamionową, zazwyczaj $(3-5) \text{ m/s} < v < (12-15) \text{ m/s}$ [1, 5].

3. METODY REGULACJI MOCY ODDAWANEJ PRZEZ ELEKTROWNIE WIATROWE

Wyróżnia się dwa tryby pracy siłownia wiatrowej: może ona pracować ze zmienną lub stałą prędkością obrotową. Innym ważnym zagadnieniem jest sposób, w jaki regulowana jest prędkość obrotowa turbiny wiatrowej oraz kierunek ustawienia jej łopatek względem kierunku wiatru. Zazwyczaj regulacja taka może odbywać się w dwóch trybach: aktywnym bądź pasywnym. Zmiana obciążenia oraz zmiana kąta ustawienia łopatek charakteryzuje regulację aktywną. W systemach regulacji pasywnej nie stosuje się specjalistycznych sterowników, polegają one na samoczynnym zatrzymaniu wirnika. Zatrzymanie wirnika następuje w momencie wystąpienia wiatru mogącego uszkodzić konstrukcję siłowni wiatrowej lub spowodować zniszczenie jej turbiny. Takie samoczynne zatrzymanie wirnika jest możliwe dzięki specjalnemu kształtowi i profilowi płata, który przy odpowiednio wysokiej prędkości wiatru powoduje zahamowanie wirnika.

Istotą metod regulacji mocy oddawanej przez elektrownie wiatrowe jest wytworzenie jak największego poziomu produkowanej mocy przy uwzględnieniu i uzyskaniu jak najlepszych parametrów jakościowych energii elektrycznej. Ważnym zagadnieniem jest również maksymalizacja czasu pracy elektrowni wiatrowej poprzez zapewnienie jak najmniejszych przeciążeń mechanicznych wirnika, a także wału łączącego generator z wirnikiem.

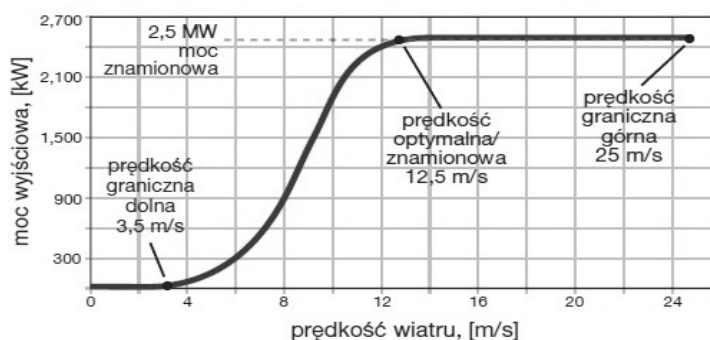
Ze względów ekonomicznych elektrownia wiatrowa powinna być tak zaprojektowana, aby generowała energię elektryczną w sposób najtańszy z możliwych. Większość turbin dostępnych na rynku jest skonstruowana w taki sposób, aby swoją moc maksymalną oddawały przy prędkości wiatru oscylującej w granicach 15 m/s. Z uwagi na rzadkość występowania wiatrów wiejących z prędkością większą niż 15 m/s nie jest opłacalne budowanie turbin osiągających moc maksymalną przy większych prędkościach.

Aby uchronić turbinę przed uszkodzeniem, niezbędne jest wytracenie nadmiaru energii wiatru, dlatego każda turbina wiatrowa powinna posiadać system kontroli mocy.

W energetyce wiatrowej wykorzystuje się następujące metody regulacji mocy oddawanej przez elektrownie wiatrowe [3, 5]:

- regulacja ustawienia elektrowni w kierunku wiatru (*Yaw Control*),
- regulacja przez ustawienie kąta łopat (*Pitch Controlled*),
- regulacja przez zmianę prędkości obrotowej generatora,
- regulacja przez zmianę obciążenia (*Load Control*),
- pasywna i aktywna regulacja przez przeciągnięcie (*Stall Regulation*),
- regulacja lotkami łopat wirnika (*Aileron Control*).

Charakterystyka określająca krzywą mocy elektrycznej w funkcji prędkości wiatru została przedstawiona na rys. 1. Kształt przebiegu tej krzywej jest zależny w głównej mierze od konstrukcji turbiny oraz układów jej regulacji.



Rys. 1. Przykładowa krzywa mocy dla turbiny wiatrowej firmy GE Energy o mocy 2,5 MW z zaznaczonymi charakterystycznymi punktami [7]

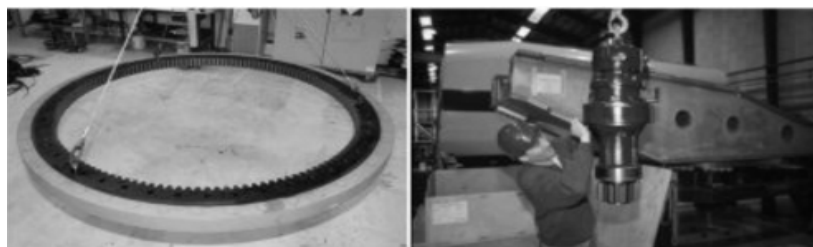
Tego typu wykres posiada trzy charakterystyczne punkty [5, 6]:

- punkt startu (cut on) – określa on prędkość wiatru, przy której łopaty wirnika zaczynają się obracać, a wał turbiny uzyskuje niezerowy moment mechaniczny. Punkt ten w zależności od konstrukcji turbiny przyjmuje wartość od 2,5 m/s do 5 m/s.

- punkt odłączenia (cut off) – punkt ten określa prędkość wiatru, przy której turbina zostaje zatrzymana, ze względu na możliwość wystąpienia uszkodzeń mechanicznych jej konstrukcji jak i generatora. Zazwyczaj jest to prędkość ok. 25 m/s.
- punkt prędkości znamionowej – jest to prędkość wiatru, przy której turbina zaczyna pracować z mocą znamionową, najczęściej w zależności od konstrukcji turbiny zawiera się ona w przedziale od 11 m/s do 16 m/s.

3.1. Regulacja ustawienia elektrowni w kierunku wiatru (*Yaw Control*)

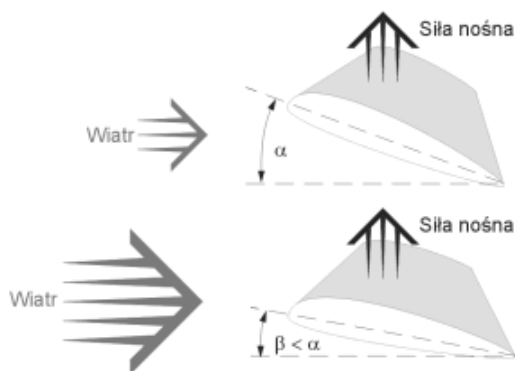
Ten system regulacji bazuje na bardzo prostym rozwiązaniu. Polega ono na obrocie gondoli, a co za tym idzie zmianie położenia osi obrotu wirnika turbiny wiatrowej względem kierunku wiejącego wiatru. Regulacja ta może być wykonywana w sposób aktywny bądź pasywny. System regulacji pasywnej montowany jest głównie w turbinach o małej mocy, pracujących dla niedużych odbiorców. Regulacja odbywa się za pomocą chorągiewki kierunkowej umieszczonej na gondoli. Dzięki takiemu rozwiązaniu wirnik ustawia się na wprost do kierunku wiejącego wiatru. W dużych turbinach, osiągających moce od kilkudziesięciu kilowatów do kilku megawatów, stosuje się systemy aktywnej regulacji ustawienia elektrowni w kierunku wiatru. Aktywny system składa się z zębatego pierścienia znajdującego się na szczycie wieży oraz z koła zębatego osadzonego na wale silnika kierunkowego. Silnik kierunkowy zintegrowany jest z elektronicznym kontrolerem kierunku wiatru, który nawet kilka razy na sekundę odczytuje dane z wiatrowskazu, dzięki czemu, obracając się, nastawia turbinę odpowiednio do kierunku wiatru i w razie potrzeby koryguje ustawienie kierunku. Niewielką wadą tej metody jest fakt, że oddawana moc, zależna od powierzchni zarysu wirnika, zmniejsza się z uwagi na odsunięcie siłowni od głównego kierunku wiatru, a co za tym idzie zmniejszeniu ulega powierzchnia użyteczna wirnika. W momencie, kiedy turbina nie pracuje, system sterowania kierunkiem ustawienie gondoli również jest wyłączony [5, 6]. Na rysunku 2 przedstawiono elementy składowe opisanego systemu regulacji — pierścień zębaty oraz silnik kierunkowy.



Rys. 2. Elementy składowe mechanizmu regulacji kierunku: pierścień zębaty oraz silnik sterujący obrotem gondoli [6]

3.2. Regulacja przez ustawienie kąta łopat (*Pitch Controlled*)

W tego typu systemie regulacji ważną rolę odgrywa elektroniczny kontroler, który nawet kilka razy na sekundę sprawdza moc wyjściową turbiny. Kiedy moc turbiny staje się zbyt wysoka, kontroler wysyła sygnał do mechanizmu zajmującego się zmianą kąta ustawienia łopat. Mechanizm ten natychmiastowo koryguje kąt natarcia w taki sposób, aby zmniejszyć moment napędowy wirnika. Dokładnie odwrotnie dzieje się w momencie, kiedy wiatr słabnie. W tym systemie łopaty wirnika posiadają możliwość obrotu wokół własnej osi, czyli tzw. regulacji kąta natarcia. Nad poprawnością działania układów typu *pitch* czuwa zaawansowana technologia, żeby mieć pewność, że kąt natarcia jest jak najlepiej dopasowany do aktualnie panujących warunków wietrznych. Aby utrzymać stałą moc wyjściową, komputer sterujący będzie dopasowywał ustawienie łopaty o kilka stopni wraz z każdą zmianą prędkości wiatru. Mechanizm zajmujący się zmianą kąta natarcia łopat jest zazwyczaj wykonany z oddzielnych siłowników hydraulicznych dla każdej łopaty, znajdujących się w piaście wirnika. Na rysunku 3 przedstawiono graficzną ilustrację działania tej metody. W chwili, kiedy prędkość wiatru rośnie, zmniejszany jest kąt natarcia tak, aby utrzymać stałą siłę nośną. Wadą tej metody jest istnienie dodatkowych ruchomych części w konstrukcji turbiny, zwiększających koszt inwestycji oraz prawdopodobieństwo awarii [5, 6].



Rys. 3. Graficzna ilustracja zasady działania metody regulacji mocy przez ustawienie kąta łopat (*Pitch Controlled*) [6]

3.3. Regulacja przez zmianę prędkości obrotowej generatora

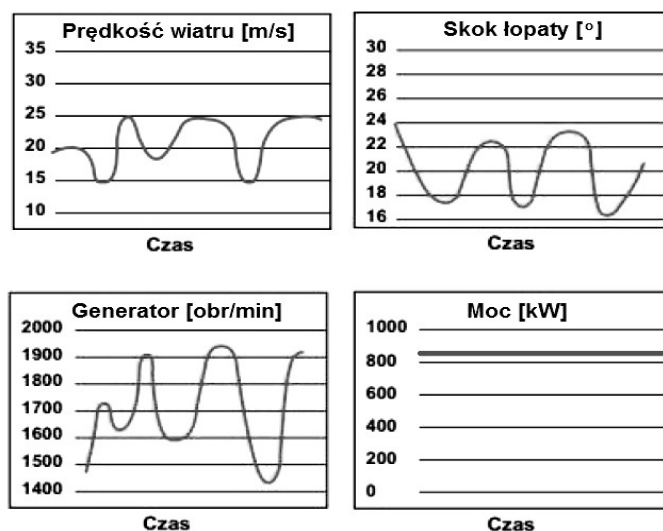
Kolejnym sposobem regulacji mocy oddawanej przez turbinę wiatrową jest regulacja poprzez zmianę prędkości obrotowej generatora, która polega na jednoczesnym kontrolowaniu i pomiarze zmian prędkości generatora oraz wirnika, a także zmian kąta natarcia łopat wirnika. Jest to spowodowane koniecznością

wyeliminowania oscylacji mocy wytwarzanej przez turbinę oraz zmniejszenie prawdopodobieństwa uszkodzenia elementów siłowni wiatrowej podczas nagłych porywów wiatru.

Rozwiązaniem stosowanym do tego typu pomiarów rozwiązaniem stosowanym w praktyce są układy o nazwie OptiSlip i OptiSpeed. W najczęściej spotykanych, klasycznych układach regulacji, generator asynchroniczny może pracować z prędkością obrotową w granicach $100 \div 101\%$ prędkości nominalnej. Oznacza to, że maszyna czterobiegunowa, przy częstotliwości 50 Hz obracać się będzie z prędkością z zakresu $1500 \div 1515$ obr/min. Można w tym wypadku powiedzieć, że generator pracuje ze stałą prędkością obrotową. Dzięki układowi OptiSlip możliwa jest zmiana poślizgu maszyny indukcyjnej do 10%, zatem generator może pracować z prędkością z zakresu $1500 \div 1650$ obr/min. W momencie większych porywów wiatru ma miejsce nieznaczne zwiększenie obrotów generatora. W tym samym czasie, zmniejszany będzie kąt natarcia łopat wirnika, co wpłynie na zmniejszenie obrotów turbiny. Skutkuje to zmniejszeniem przeciążeń wirnika i innych części systemu mechanicznego oraz przebiegiem prądu generowanego przez turbinę pozbawionym wahań. Ulepszoną wersją układu OptiSlip jest układ OptiSpeed. W tym systemie prędkość turbiny i generatora można zmieniać nawet o 60%. W najnowszych rozwiązaniach technologicznych i konstrukcyjnych siłowni wiatrowych dużych mocy występuje możliwość zmiany liczby par biegunów w stojanie generatora asynchronicznego, adekwatnie do zmieniającej się prędkości wiatru. Pozwala to dostosować prędkość synchroniczną maszyny do prędkości wiatru. Na rysunku 4 pokazano przebieg zmieniających się w czasie prędkości wiatru, skoku łopaty oraz obrotów generatora dla turbiny Vestas V52 – 850 kW z systemem OptiSpeed, której generator, pomimo wahań tych parametrów, utrzymał stałą moc przewyższającą 800 kW. Rysunek ten pokazuje zasadę działania systemu OptiSpeed. Inną turbiną, wykorzystującą ten sposób sterowania, jest turbina tego samego producenta o mocy 2 MW – turbina Vestas V80 – 2,0 MW [5, 6].

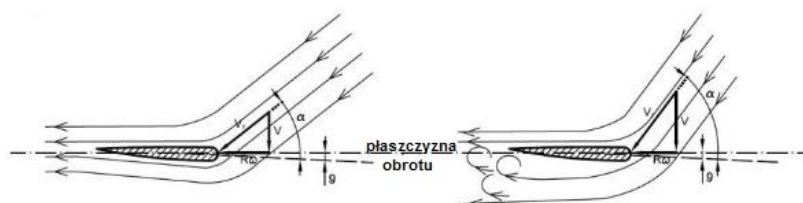
3.4. Pasywna regulacja przez przeciągnięcie (*Stall Controlled*)

Przy tego typu regulacji łopaty wirnika przymocowane są pod stałym kątem. Geometria profilu łopaty jest zaawansowana technologicznie i dopracowana aerodynamicznie w taki sposób, aby przy bardzo silnym wietrze łopata wprowadzała turbulencje (na części łopaty) ograniczające moment napędowy wirnika. W momencie, w którym przepływ powietrza nad płatem załamuje się, dochodzi do sytuacji, w której płat traci siłę nośną, zjawisko to nosi nazwę przeciągnięcia, potocznie nazywanego utykaniem. Tym większa część łopaty wirnika jest w stanie utykania, im większa jest prędkość wiatru.



Rys. 4. Wykresy przedstawiające wartości najważniejszych parametrów w funkcji czasu dla turbiny Vestas V52 – 850 kW wyposażonej w system OptiSpeed [4]

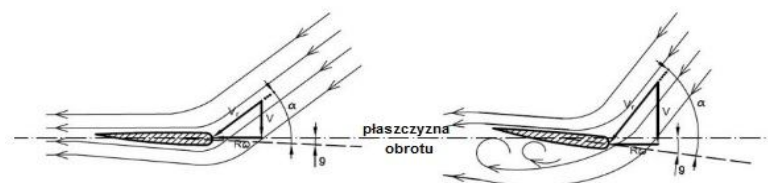
Charakterystyczną cechą w budowie łopaty, w której zastosowano ten system, jest jej skręcenie. Ta cecha jej budowy wpływa m.in. na ochronę wirnika, który przeciągnięciu ulega stopniowo i przy silniejszych podmuchach wiatru reaguje mniej gwałtownie. Najważniejszą zaletą tego typu regulacji jest brak zaawansowanego i skomplikowanego mechanizmu odpowiadającego za regulację kąta ustawienia łopat. Wpływa to na mniejsze prawdopodobieństwo awarii i przestoju turbiny. Z drugiej strony regulacja typu "stall" wymaga instalacji niezwykle złożonej i zawansowanej technologicznie łopaty wirnika. Dodatkowo problemem w tego typu rozwiązaniach jest redukcja drgań powstałych w czasie turbulencji, przenoszonych na całą konstrukcję turbiny. Pomimo tego jest to rozwiązanie bardzo popularne, szacuje się że około dwie trzecie turbin na świecie wyposażona jest w ten system regulacji [5, 6]. Na rysunku 5 zobrazowano zasadę działania pasywnej regulacji przez przeciągnięcie.



Rys. 5. Regulacja prędkości wirnika z wykorzystaniem efektu przeciągnięcia na łopacie turbiny przy stałym kącie jej nachylenia [2]

3.5. Aktywna regulacja przez przeciągnięcie (*Active Stall Controlled*)

Z technicznego punktu widzenia aktywna regulacja przez przeciągnięcie przypomina regulację typu "pitch" z uwagi na wykorzystanie regulacji kąta natarcia łopat. Istotna różnica polega na tym, że w momencie, w którym generator ulega przeciążeniu, łopaty ustawiane są w odwrotnym kierunku, niż przy regulacji typu *pitch*. Aby wprowadzić łopaty w stan coraz głębszego przeciągnięcia, zwiększany jest kąt natarcia łopaty. W ten sposób wytracana jest zbyt duża energia wiatru, mogąca np. uszkodzić turbinę. Zaletą tego typu systemu jest możliwość dokładniejszych ustawień i kontroli mocy wyjściowej oddawanej przez generator, niż w przypadku regulacji pasywnej. Pozwala to uniknąć sytuacji, w której generator przekroczy moc znamionową przy nagłych podmuchach wiatru. Kolejną zaletą tego systemu jest możliwość pracy przy dużych prędkościach wiatru z mocą zbliżoną do znamionowej. W systemie pasywnym przy dużych prędkościach wiatru, ze względu na duże przeciągnięcie łopat, występuje spadek wartości produkowanej mocy [5,6]. Na rysunku 6 zaprezentowano graficzną ilustrację sposobu działania aktywnej regulacji przez przeciągnięcie.



Rys. 6. Regulacja prędkości wirnika z wykorzystaniem efektu przeciągnięcia na łopacie turbiny przy zmianie jej kąta nachylenia [2]

3.6. Regulacja przez zmianę obciążenia (*Load Control*)

W tej metodzie wykorzystuje się zmianę obciążenia generatora (zmianę rezystancji). Zmiana obciążenia powinna odbywać się w sposób łagodny, ponieważ zbyt gwałtowne zmiany momentu obciążenia mogą negatywnie wpłynąć na turbinę, np. spowodować jej uszkodzenie lub innych elementów, z których jest zbudowana siłownia wiatrowa. Zmieniając obciążenie "przenosi się" punkt pracy turbiny z jednej charakterystyki mechanicznej na inną, taką, która jak najlepiej odpowiada aktualnie panującym warunkom wietrznym (prędkości i kierunkowi wiatru) [5, 6].

3.7. Regulacja lotkami łopat wirnika (*Aileron Control*)

Obecnie jest to bardzo rzadko stosowany sposób regulacji, został on opracowany i był stosowany w początkowej fazie rozwoju energetyki wiatrowej. Pomysł ten został zaczerpnięty z inżynierii lotniczej, gdzie jest powszechnie sto-

sowany np. podczas startu lub lądowania samolotu. W tym systemie regulacji zmienia się charakterystykę aerodynamiczną łopat poprzez zmianę ustawienia tzw. lotek [3, 5, 6].

4. PODSUMOWANIE

Stosowanie metod regulacji mocy oddawanej przez elektrownie wiatrowe, w znaczący sposób podnosi efektywność energetyczną oraz ekonomiczną pracujących farm wiatrowych. Wiąże się to z większą ilością mocy oddawanej do sieci oraz wpływa na zmniejszenie kosztów jej produkcji. Wykorzystanie kilku metod regulacji mocy w jednej instalacji energetycznej znacząco podnosi sprawność farmy wiatrowej. Jednym z najczęściej stosowanych połączeń metod regulacji jest współpraca regulacji ustawienia elektrowni w kierunku wiatru z regulacją zmiany kąta ustawienia łopat.

Metody regulacji mocy wpływają nie tylko na poprawę efektywności ekonomicznej oraz energetycznej, ale wpływają także na poprawę bezpieczeństwa pracy całej konstrukcji oraz maszyn elektrycznych wchodzących w skład budowy turbiny. Dają one możliwość odłączenia turbiny od pracy w sieci elektroenergetycznej w przypadku zbyt silnego wiatru lub zbyt silnych turbulencji.

LITERATURA

- [1] Lubośny Z., Farmy Wiatrowe w Systemie Elektroenergetycznym, Wydawnictwo WNT, Warszawa, 2013.
- [2] Meller K., Łopaty wirnika, www.elektrownie-wiatrowe.opx.pl, 26.01.2017 r.
- [3] Michałowska-Knap K., Wiśniewski G., i inni, Energetyka Wiatrowa – stan aktualny i perspektywy, Instytut Energetyki Odnawialnej, Warszawa, 2012.
- [4] Rembowski Ł., Turbiny wiatrowe – informacje, www.agroenergetyka.pl, 25.01.2017 r.
- [5] Tytko R., Urządzenia i systemy energetyki odnawialnej, Wydawnictwo i Drukarnia Towarzystwa Słowaków w Polsce, Kraków, 2014.
- [6] www.elektrownie-tanio.net, Regulacja mocy, 30.01.2017 r.
- [7] www.oze.gep.com.pl, Zasada działania siłowni wiatrowej, 20.01.2017 r.

ANALYSIS OF POWER CONTROL METHODS IN WIND POWER PLANTS

The article presents the characteristics of the best known methods of power regulation supplied by wind power plants. Special attention was paid to the advantages and disadvantages of the various solutions and their possible relationship with the control systems of wind turbine.

(Received: 07. 02. 2017, revised: 27. 02. 2017)