

Piotr DOERFFER, prof. dr hab. inż.,

PEŁNOMOCNIK DYREKTORA DS.

PROJEKTÓW I INFRASTRUKTURY

ul. Fiszera 14

80-952 Gdańsk

tel.: (+48) 58 6995 202

fax: (+48) 58 341-61-44

e-mail: doerffer@imp.gda.pl

Gdańsk, 2.011.2012

Recenzja rozprawy doktorskiej

mgr inż. Arkadiusza Mroza

p.t. "Adaptacyjna absorpcja obciążeń od ekstremalnych podmuchów wiatru
w turbinach wiatrowych"

1) Uwagi ogólne

Rozprawa dotyczy bardzo aktualnej tematyki energetyki wiatrowej i przedstawia innowacyjne rozwiązanie pozwalające na zmniejszenie obciążeń dynamicznych działających nie tylko na łopatę wiatraka ale w konsekwencji również na maszt. Obciążenia od podmuchów stanowią istotny problem, który musi być uwzględniony w projektowaniu wiatraków. Dzięki nowemu rozwiązaniu ekstremalne obciążenia będą zmniejszone.

Istotnym w pracy jest to, że przykład obliczeniowy oparty jest na konkretnej turbinie 5 MW, która była przedmiotem badań w projekcie europejskim UpWind. Dzięki przedstawionej pracy doktorskiej udostępnione zostały dla polskiego odbiorcy wyniki badań i dane z projektu UpWind. Jest to szczególnie ważne, ponieważ takie dane są trudnodostępne w literaturze. Konstrukcje wiatraków i ich prawdziwa efektywność są zazwyczaj traktowane przez producentów jako informacje poufne.

Zaproponowana metoda polega na umożliwieniu szybkiego przestawienia kąta ustawienia łopaty w kierunku położenia "w chorągiewkę", wykorzystując moment aerodynamiczny, który działa właśnie w takim kierunku. Wykorzystuje się więc energię strumienia powietrza do obrócenia łopaty dzięki zwiększeniu podatności mechanizmu nastawiania łopaty. Wprowadza to podatność kąta ustawienia łopaty na szybkie podmuchy wiatru. Omawiane w pracy rozwiązanie zostało opracowane w ramach projektu UpWind, opublikowane w znaczących czasopismach oraz zgłoszone do opatentowania.

Powyższe informacje oznaczają, że praca dotyczy ważnej tematyki badawczej, zweryfikowanej na poziomie przynajmniej europejskim, wprowadza nowe rozwiązanie innowacyjne, które ma szansę na dalsze wykorzystanie. Stawia to przedstawioną rozprawę doktorską na bardzo wysokim poziomie merytorycznym.

2) Struktura pracy

Praca składa się z sześciu rozdziałów i Zakończenia, przedstawionych na 111 stronach oraz z trzech dodatków zajmujących 20 stron. Dodatki zawierają więc dużą ilość informacji, które słusznie zostały wyłączone z głównej treści rozprawy. Dzięki temu praca zyskała na przejrzystości.

Praca zawiera 71 pozycji literatury i jest bardzo mocno ilustrowana, zawierając 119 rysunków i 15 tabel.

W pracy zrezygnowano z przedstawienia wykazu oznaczeń, które są skrupulatnie opisane w tekście. Brak wykazu oznaczeń czasami utrudnia jednak czytanie pracy. Niektóre wyjaśnienia nie są dostatecznie wyczerpujące. Np. na stronie 37 wyjaśnienia współczynników indukcji "a" – "*a określa spadek prędkości obrotowej strumienia powietrza przy przejściu przez płaszczyznę wirnika, na skutek odebrania części jego energii kinetycznej przez wirnik*". Nie jest jednak jasne dlaczego prędkość napływu ma być zredukowana tym co dzieje się za wirnikiem ani dlaczego należy uwzględnić a' , określającym "*wzrost prędkości stycznej do wiatraka na skutek odchylenia strumienia powietrza w kierunku przeciwnym do kierunku obrotu*".

Niektóre odnośniki zostały pomyłone, na stronie 61 kąt napływu został nazwany "W" a powinno być " φ ", na stronie 67 przywołany numer rysunku 5.29 a powinien być 5.30.

Krzywe na niektórych wykresach są zupełnie niewidoczne jak na rys.5.32 oraz 5.33 i innych.

3) Zawartość rozprawy

Zaproponowane rozwiązanie uzupełnia istniejące aktywne rozwiązania ustawiania kąta łopaty o dodatkowy półaktywny system redukujący naprężenia w nasadzie łopaty w trakcie ekstremalnych podmuchów wiatru.

Analizę nowego systemu, zawartą w pracy potraktowano bardzo systematycznie, prezentując każdy z elementów badań bardzo szczegółowo. Dlatego też w ogólnym wrażeniu z czytania rozprawy wydają się, że główny cel rozprawy został ujęty dosyć skrótowo. Jednakże taka prezentacja pokazuje całkowity wkład pracy jaki został włożony aby osiągnąć cel rozprawy.

Na początku przedstawiono szczegółową charakterystykę podmuchów wiatru. Omówiono normę europejską dotyczącą projektowania turbin, jak również przykłady rzeczywistych podmuchów wiatru, w różnych lokalizacjach. Do obliczeń numerycznych przedstawionych w pracy obok standardowego podmuch ekstremalnego zastosowano również podmuch ponadnormatywny.

W rozdziale 3 przedstawiono relacje pomiędzy najważniejszymi siłami aerodynamicznymi z punktu widzenia wyężenia łopat. Za przykład posłużyła tu turbina o mocy znamionowej 5 MW. Przedstawiono koncepcję wykorzystania aerodynamicznego momentu skręcającego do szybkiego zwiększania kąta ustawienia łopat. Jest to uzasadnienie metody półaktywnej, nie wymagającej dostarczenia istotnej energii z zewnątrz. Brakuje tu trochę jasności w definicji "półaktywny", bo wydaje się, że jest to system pasywny, aczkolwiek sterowany. W ogólności rozłączenie połączenia skrętnego łopaty z piastą może stanowić awaryjny element mechanizmu nastawiania kąta łopaty.

W rozdziale 4 sformułowano model numeryczny, który dotyczył kilku elementów. Po pierwsze przedstawiono prosty model turbiny wiatrowej o sztywnych łopatach. Po drugie przedstawiono model "strumieniowy" opływu elementu łopaty, jako zasadnicze narzędzie sprzężenia pomiędzy aktywnymi aerodynamicznie stopniami swobody a siłami

aerodynamicznymi. Dla zwiększenia przejrzystości pracy podstawowe wyprowadzenie wzorów i elementów teorii przeniesiono do dodatków A, B oraz C.

Rozdział 5 jest najważniejszym elementem rozprawy ponieważ przedstawia wyniki symulacji numerycznych uzyskanych w ramach przedstawionej pracy doktorskiej. Bardzo cenne jest przedstawienie danych aerodynamicznych i strukturalnych turbiny wiatrowej o średnicy wirnika 126 m i mocy znamionowej 5 MW. Obliczone postacie i częstości własne wiatraka stanowiły punkt wyjścia do symulacji wykonanych za pomocą metody modalnej. Przedstawiono również, analizę otrzymanych postaci własnych pod kątem ich wykorzystania do sformułowania rozwiązania przybliżonego.

Na podstawie analizy stanów ustalonych pokazano rozkłady podstawowych parametrów wzdłuż łopaty takich jak: współczynniki indukcji, lokalny kąt natarcia, sił oraz momentu aerodynamicznego, dla pełnego zakresu wiatrów od 4 do 25 m/s. Autor zwraca uwagę na różne zachowanie współczynnika indukcji "a" przy różnych prędkościach napływu wiatru ale brak jest wyjaśnienia dlaczego tak się dzieje. Dlaczego prędkość napływu, uwzględniana w modelu, ma odpowiadać 70% faktycznej prędkości dla niektórych warunków pracy turbiny? Wyniki obejmują także obciążenia działające na turbinę wiatrową jak i deformacje masztu i łopat.

Analizą objęto również dynamiczną odpowiedź całego układu na podmuchy wiatru.

Najistotniejszą częścią rozdziału 5 są wyniki symulacji dynamicznych dotyczących działania mechanizmu łagodzenia obciążeń. Omówiono poszczególne fazy procesu reagowania łopat na narastający podmuch. W obliczeniach uwzględniono odpowiedź na podmuch normatywny, ponadnormatywny oraz awaryjne łagodzenie obciążeń.

Rozdział 6 przedstawia weryfikację eksperymentalną metodyki badawczej na dwułopatowej turbinie modelowej w skali laboratoryjnej. Obiektem badań była turbina wiatrowa o średnicy wirnika około 2 m, wyposażona w sprzęgła o sterowalnej sztywności skrętnej połączenia łopaty z piastą. Badania doświadczalne przeprowadzono w tunelu aerodynamicznym w Delft. Wielkościami mierzonymi były odkształcenia u nasady łopat oraz obrót wałka sprzęgła. Przedstawiono porównanie poszerzonych wielkości z symulacjami numerycznymi.

4) Ocena rozprawy

Praca przedstawiona jest w sposób bardzo przejrzysty i jasny. Wyraźnie autor dołożył starań aby prowadzony wywód był konsekwentny i logiczny. Praca zawiera bardzo dużą ilość ilustracji i wykresów, które są szczegółowo wyjaśnione i opisane. Ułatwia to odbiór pracy.

Wykazano, że możliwe jest szybkie zredukowanie obciążeń aerodynamicznych działających na łopatę poprzez wysprzęglenie skrętnego połączenia łopaty z piastą, i następnie sterowanie procesem obrotu łopaty wokół swojej osi w trakcie narastania podmuchu wiatru. Warunkiem jest tu ujemny moment aerodynamiczny łopaty.

Średnie prędkości obrotu łopaty w takiej sytuacji mogą znacznie przewyższać prędkość działania mechanizmów regulacji kąta ustawienia łopaty.

Ostatecznie zademonstrowano iż w wyniku wysprzęglenia łopat następuje ich ruch obrotowy w kierunku położenia "w chorągiewkę" i towarzyszy temu spadek średniej wartości momentów reakcji dynamicznych w nasadzie łopaty. Uzyskane wyniki świadczą o dobrej zgodności wyników eksperymentalnych z symulacjami numerycznymi.

Można w konsekwencji powiedzieć, że dopracowano się zweryfikowanego narzędzia analizy pracy wiatraków dużej mocy, co może okazać się bardzo przydatne w dalszym doskonaleniu turbin wiatrowych.

Pewnym niedostatkim w pracy jest brak omówienia zachowania systemu po zaniknięciu podmuchu wiatru. Wydaje się, że jest to istotna sprawa wymagająca wyjaśnienia przez doktoranta.

5) Podsumowanie i konkluzja

Prac została przedstawiona w staranny sposób i jej struktura nie budzi zastrzeżeń. Opisy i wnioski zawarte w pracy są klarowne i zrozumiałe. Przedstawione niewielkie uwagi krytyczne nie zmieniają faktu, że praca jest bardzo dobra, tematyka badań istotna a tezy rozprawy przeanalizowane w szerokim programie badawczym.

Jestem przekonany, że praca doktorska mgr inż. Arkadiusza Mroza p.t. "Adaptacyjna absorpcja obciążeń od ekstremalnych podmuchów wiatru w turbinach wiatrowych" spełnia kryteria stawiane przez ustawę o stopniach naukowych i tytule naukowym zgodnie z rozporządzeniem z dnia 15 stycznia 2004 r. i stawiam wniosek o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

Na zakończenie pragnę wyrazić przekonanie, że przedstawiona praca pokazuje dużą dojrzałość doktoranta w prowadzeniu prac badawczych i przedstawia szeroki warsztat naukowy, który został wykorzystany w pracy. Ponadto badania dotyczą istotnej tematyki w płaszczyźnie europejskiej, która ma duży potencjał wykorzystania w przyszłości. Dlatego uważam, że przedstawiona rozprawa doktorska kwalifikuje się do wyróżnienia.

