

Dr hab. inż. Piotr Osinski
Politechnika Wroclawska
Katedra Eksploatacji Systemów Logistycznych, Systemów
Transportowych i Układów Hydraulicznych W10/K9
ul. Ign. Łukasiewicza 7/9
PL 50-371 Wrocław

tel. +48 71 320 45 98
fax. +48 71 3220 76 45
mail: piotr.osinski@pwr.edu.p

Wrocław, dn. 07.12.2018 r.

RECENZJA

pracy doktorskiej mgr inż. Wojciecha Iwanickiego
pt. „Sterowanie sprzęgła hydrokinetycznego przez zmianę natężenia przepływu cieczy
roboczej”

Promotor rozprawy : Prof. zw. dr hab. inż. Zbigniew Kęsy
Promotor pomocniczy : dr Karol Osowski

Podstawa opracowania recenzji

Pismo Prof. dra hab. Sławomira I. Bukowskiego Prorektora ds. Rozwoju Kadry i Współpracy z Zagranicą Uniwersytetu Technologiczno-Humanistycznego w Radomiu z dnia 30 października 2018r. (nr PK-042/78/82-1/st.dr-r/18).

Merytoryczna ocena pracy

Tematyka pracy porusza aktualne i istotne zagadnienie dotyczące sterowania sprzęgłem hydrokinetycznym polegającym na dostosowaniu odległości pomiędzy wirnikiem pompy i turbiny. Rozwiązanie tego typu nie było do tej pory szerzej rozpatrywane ze względu na potrzebę zapewnienia możliwie najwyższej sprawności w maszynach i urządzeniach z napędem hydrokinetycznym. Konieczność ochrony środowiska naturalnego wskazała na nowe źródła pozyskiwania energii oparte w znacznym stopniu na energii wiatrowej. Elektrownie wiatrowe należą do grupy urządzeń, w których często występuje nadmiar energii spowodowany zmiennymi warunkami pogodowymi. Wzrost prędkości wiatru skutkuje bowiem wytworzeniem nadwyżki energii mechanicznej, która powinna być zredukowana do wartości jaką jest w stanie zaabsorbować generator prądotwórczy. Zaproponowana w pracy autorska metoda sterowania sprzęgłem hydrokinetycznym może być alternatywą lub uzupełnieniem dla obecnie stosowanych metod redukcji nadwyżki energii wytwarzanej przez wirnik elektrowni. Zatem użyteczny charakter poruszanego w pracy zagadnienia wskazuje na celowość podjętych badań. W ramach pracy doktorskiej autor wykonał badania stanowiskowe oraz przeprowadził rozważania teoretyczne. W trakcie badań stanowiskowych określił wpływ na przenoszony moment obrotowy w zależności od: kierunku obrotów pompy, stopnia napełnienia, temperatury

cieczy roboczej oraz szczeliny pomiędzy wirnikiem pompy i turbiny. Analizę teoretyczną Pan Wojciech Iwanicki przeprowadził dla modelu matematycznego maszyny przepływowej opartego na teorii „średniej strugi”. W kolejnym etapie opracowany model wykorzystano do symulacji numerycznej pracy sprzęgła hydrokinetycznego z rozsuwanymi wirnikami w napędzie generatora elektrowni wiatrowej małej mocy. Obliczenia zostały przeprowadzone w programie komputerowym napisanym przez Doktoranta.

Celem pracy było opracowanie modelu matematycznego pracy sprzęgła hydrokinetycznego sterowanego za pomocą zmiany natężenia przepływu cieczy roboczej poprzez rozsuwanie wirników pompy i turbiny oraz wykonanie badań eksperymentalnych. Wytyczony cel pracy poprzedzony był obszerną analizą istniejącego stanu wiedzy w zakresie: budowy, działania, sposobu sterowania sprzęgieł i przekładni hydrokinetycznych oraz ich zastosowania w układach napędowych różnego typu maszyn. Przeprowadzona analiza literatury, na którą składają się 93 pozycje, w tym 45 obcojęzycznych pozwoliła na merytoryczne uzasadnienie celowości podjętych przez Doktoranta rozważań.

Zakres pracy obejmował kilka etapów. Pierwszym z nich było przyjęcie założeń konstrukcyjnych dla prototypu sprzęgła hydrokinetycznego. Prototyp o zmiennej szczelnie między wirnikami pompy i turbiny wytworzony został w oparciu o dokumentację rysunkową, którą wykonał Doktorant. Konstrukcja opracowana przez Doktoranta charakteryzowała się, m.in.:

- 1) możliwością rozsunęcia kół łopatkowych na odległość 6 cm,
- 2) stałym napełnieniem cieczy roboczej,
- 3) zapewnieniem obrotów w obu kierunkach.

W kolejnym etapie Doktorant był wiodącym twórcą stanowiska badawczego. W skład stanowiska wchodziły podzespoły:

- 1) mechaniczne,
- 2) elektryczne, zawierające układy sterowania i zasilania silników elektrycznych,
- 3) oraz elektroniczne tory pomiarowe rejestrujące dane pomiarowe w czasie rzeczywistym.

Na stanowisku sprzężenie wirnika pompy i turbiny zapewniono za pomocą tulei pośrednich z silnikiem elektrycznym napędowym oraz silnikiem elektrycznym pełniącym rolę hamulca. Natomiast wirnik turbiny odsuwano od wirnika pompy poprzez przesunięcie silnika elektrycznego pełniącego rolę hamulca. Do przesuwania silnika elektrycznego wykorzystano napęd śrubowy sterowany dodatkowym silnikiem elektrycznym.

W następnym etapie zostały wyznaczone przez Doktoranta charakterystyki statyczne dla założonego zakresu (pola) i planu badań. Przeprowadzone badania pozwoliły na określenie wpływu poszczególnych parametrów na przenoszony przez sprzęgło hydrokinetyczne moment obrotowy M . W pracy wykazano między innymi, że:

- 1) prędkość obrotowa n_1 wirnika pompy w największym zakresie wpływa na wartość i przebieg momentu obrotowego M przenoszonego przez sprzęgło hydrokinetyczne; ponadto zależność ta zbliżona jest do funkcji kwadratowej,

- 2) zmniejszenie stopnia napełnienia ψ o 4% powoduje spadek przenoszonego momentu obrotowego M do 53% dla lewego kierunku obrotów oraz do 55% dla prawego kierunku obrotów,
- 3) wzrost temperatury T cieczy roboczej o 20% skutkuje wzrostem momentu obrotowego M przeciętnie o ok. 50% niezależnie od kierunku obrotów,
- 4) zwiększenie rozsunęcia h kół łopatkowych powoduje spadek momentu do poziomu 54% początkowej wartości dla lewego kierunku obrotów wirnika i do poziomu 86% początkowej wartości dla prawego kierunku obrotów wirnika.

Na podstawie badań przeprowadzonych dla prototypowego sprzęgła hydrokinetycznego sformułowano szereg wniosków wskazujących na zasadność stosowania konstrukcji ze zmienną odległością pomiędzy wirnikiem pompy i turbiny. Rozpoznano, że zwiększenie szczeliny h powoduje monotoniczny spadek przenoszonego momentu M i efekt ten może być wykorzystany do sterowania. Dodatkowo, analiza przeprowadzonych badań stanowiskowych dowiodła, że niewielka zmiana wartości szczeliny h pomiędzy wirnikami, powodowała istotne zmiany wartość momentu obrotowego M , co wskazuje na potrzebę nieznacznego zwiększenia gabarytów konstrukcji ze sterowaną szerokością szczeliny. W celu zapewnienia szerokiego zakresu zmian momentu należy zapewnić wysoką wartość prędkości obrotowej wirnika pompy oraz stopień napełnienia cieczą roboczą bliski 100%. Powyższe ustalenia wnoszą istotny wkład w dorobek pracy oraz dalszy kierunek badań.

W kolejnym etapie dysertacji Doktorant rozwinął opisywany w literaturze model sprzęgła hydrokinetycznego z płaskimi łopatkami o model z łopatkami skośnymi zakładając przy tym, że przekrój merydionalny obydwu wirników jest identyczny. Zależności matematyczne oparto na modelu „średniej strugi” z uwzględnieniem strat tarcia cieczy o ścianki kanałów wirników oraz straty uderzenia o łopatki cieczy wpływającej do wirnikach. W rozważaniach dla uproszczenia przyjęto, że gęstość cieczy roboczej ρ nie zmienia się w funkcji ciśnienia i temperatury, a wartość współczynnika strat uderzenia ζ dla każdego z wirników równa jest jedności. Współczynnik strat tarcia φ wyznaczono w oparciu o przeprowadzone badania stanowiskowe. W modelu uwzględniono istotny dla rozważanej konstrukcji podział objętościowego strumienia cieczy Q , którego część wypływa przez szczelinę między kołami łopatkowymi nie wpływając do wirnika turbiny. Z tego względu w równaniach wprowadzono współczynnik zmniejszenia natężenia przepływu ε zależny od szerokości szczeliny h pomiędzy wirnikami. Wymieniony współczynnik został określony na podstawie badań eksperymentalnych jako funkcja zależna od szerokości szczeliny h i przełożenia i_k . Zaproponowany w dysertacji model sprzęgła hydrokinetycznego o zmiennym natężeniu przepływu cieczy roboczej stanowi ważny dorobek przedstawionej do oceny dysertacji. Na podkreślenie zasługuje tutaj fakt, że przyjęty model matematyczny został zweryfikowany doświadczalnie w oparciu o zebrane dane pomiarowe dla uprzednio wykonanego prototypu. Weryfikację modelu matematycznego Doktorant zakończył oceną poprawności identyfikacji współczynnika strat tarcia φ oraz współczynnika zmniejszenia natężenia przepływu ε .

Przedstawione w pracy badania teoretyczne, stanowiące ostatni rozdział dysertacji, oparte są na obliczeniach przeprowadzonych z wykorzystaniem autorskiego oprogramowania Doktoranta. Programy zostały napisane w języku Turbo Pascal 7.0, którego algorytm zawierał

uprzednio opracowany model matematyczny sprzęgła hydrokinetycznego. Kody źródłowe oprogramowania zamieszczono w Załącznikach od 1 do 3. Przeprowadzone obliczenia numeryczne posłużyły do określenia wpływu współczynnik strat tarcia φ , kierunku obrotów n i przełożenia i_k na moment obrotowy M przenoszony przez przekładnię. Przeprowadzona została również symulacja pracy sprzęgła hydrokinetycznego w układzie napędowym elektrowni wiatrowej. Obliczenia przeprowadzono dla generatora elektrowni wiatrowej pracującego z prędkością obrotową 750, 1500 i 3000 obr/min oraz przy spełnieniu warunku dostarczania stałej mocy niezależnie od zmian prędkości obrotowej wirnika spowodowanych zmianą prędkości wiatru. Analiza wykonanych obliczeń wykazała słuszność przyjętych przez Doktoranta założeń. W wyniku rozsunęcia wirników sprzęgła hydrokinetycznego na skutek wzrostu prędkości wiatru wykazana została stabilność pracy generatora na skutek mniejszej sprawności układu napędowego. Dorobkiem przedstawionych w pracy badań teoretycznych jest zakończenie tzw. badań podstawowych w zakresie praktycznego wykorzystania koncepcji sprzęgła hydrokinetycznego z rozsuwanymi wirnikami.

Oryginalność naukowa pracy doktorskiej polega na:

- 1) opracowaniu modelu sprzęgła hydrokinetycznego o rozsuwanych wirnikach,
- 2) eksperymentalnym wyznaczeniu wpływu prędkości obrotowej n , kierunku obrotów, stopnia napełnienia ψ , temperatury czynnika roboczego T oraz wielkości szczeliny h na wartość momentu obrotowego M przenoszonego przez sprzęgło hydrokinetyczne,
- 3) wyznaczenia na podstawie badań eksperymentalnych współczynnika strat tarcia φ oraz współczynnika zmniejszenia natężenia przepływu ε dla prototypowego sprzęgła,
- 4) wyznaczenie wpływu współczynnika strat tarcia φ na moment obrotowy M przenoszony przez sprzęgło,
- 5) numeryczną symulację pracy sprzęgła hydrokinetycznego w układzie napędowym elektrowni wiatrowej.

Metodyka badań, użyta w pracy, zarówno analitycznych, symulacyjnych jak i stanowiskowych jest przekonująca i w pełni poprawna, zwłaszcza w świetle otrzymanych wyników. Autor samodzielnie zweryfikował opracowany model matematyczny prototypowego sprzęgła i dokonał jego porównania z badaniami doświadczalnymi. Zastosowane metody umożliwiły kompleksowe zrealizowanie celu i zakresu pracy.

Stopień rozwiązania zagadnienia w tym ujęciu tematu i celu pracy jest zrealizowany w pełni.

Dorobek użyteczny pracy jest znaczący i bardzo wartościowy bowiem otrzymano **prototyp** sprzęgła hydrokinetycznego sterowanego za pomocą zmiany natężenia przepływu cieczy roboczej poprzez rozsuwanie wirników pompy i turbiny. Rozwiązanie cechuje się wysokim potencjałem aplikacyjnym w maszynach i urządzeniach z nadwyżką energii mechanicznej. Przedstawione w dysertacji rozważania są badaniami podstawowymi, które mogą stanowić punkt wyjścia do dalszych badań stosownych lub rozwojowych pozwalających na wdrożenie konstrukcji na skalę przemysłową. Badania te w większym stopniu kładą nacisk na aspekty wytrzymałościowe i trwałościowe konstrukcji.

Samodzielności opracowania nie budzi żadnych wątpliwości zarówno w obszarze rozważań teoretycznych jak i też badań doświadczalnych. Należy tu, podkreślić pracowitość Doktoranta, który musiał wykazać się wiedzą projektowo-konstrukcyjną, opanować szereg nowych zagadnień, rozpoznać rozległą literaturę przedmiotu oraz nabyć umiejętność programowania, zwłaszcza w przypadku tworzenia programów od podstaw, przygotować stanowisko oraz zaplanować eksperyment z użyciem nowoczesnego sprzętu. Rozprawa doktorska mgra inż. Wojciecha Iwanickiego potwierdza Jego przygotowanie do samodzielnego prowadzenia badań.

Układ treści i opracowanie redakcyjne w swej merytorycznej wymowie nie budzą zastrzeżeń. Cechuje je wręcz wzorowa przejrzystość. Zauważone błędy edytorskie, tzw. „literówki”, wskazałem bezpośrednio Doktorantowi.


Wniosek końcowy

Przechodząc do **ogólnej oceny** pracy stwierdzam, że Autor wykazał się umiejętnością prowadzenia prac naukowych. Za najbardziej wartościową część pracy uważam opracowanie modelu matematycznego sprzęgła hydrokinetycznego z rozsuwanymi wirnikami, badania symulacyjne oraz weryfikację doświadczalną na stanowiskach badawczych. Wykonanie prototypu sprzęgła oraz badania stanowiskowe, zamykają tym samym cykl opracowania konstrukcji, która może przejść do dalszego etapu badań rozwojowych kończących się wdrożeniem.

Reasumując wyrażam opinię, że przedłożona dysertacja spełnia wszystkie wymogi zwyczajowe i ustawowe dotyczące rozpraw doktorskich. Zatem, wnoszę o dopuszczenie rozprawy doktorskiej mgra inż. Wojciecha Iwanickiego pt.: „Sterowanie sprzęgła hydrokinetycznego przez zmianę natężenie przepływu cieczy roboczej” do publicznej obrony.

Ponadto uważam, że praca zasługuje na wyróżnienie i stosowny wniosek zamierzam złożyć w dniu obrony, po wysłuchaniu i ocenie Rady Wydziału. Dysertacja kwalifikuje się również do publikacji po jej uprzednim przereadaniu.

Wrocław, dn. 07.12.2018 r.


dr hab. inż. Piotr Osiński