

**Dr hab. inż. Andrzej Adamkiewicz,
prof. nadzw. AM w Szczecinie**

AKADEMIA MORSKA w SZCZECINIE
Wydział Mechaniczny, Katedra Diagnostyki i Remontów Maszyn
ul. Wały Chrobrego 1-2, 70-500 Szczecin
e-mail: a.adamkiewicz@am.szczecin.pl
Tel. (091) 4809 901/902

WYDZIAŁ OCEANOLOGII I OKRĘTOWNICTWA PG	
Wpłynęło dnia	15.09.2016
L.dz.	372
Za:	

Szczecin, 01.08. 2016 r.

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr inż. Wojciecha Leśniewskiego

**pt.: Ocena wpływu własności czynnika chłodzącego oraz geometrii
i parametrów pracy wysokomomentowego silnika elektrycznego na sprawność
podowego pędnika małej mocy**

1. Podstawa opracowania recenzji

Recenzję opracowano na podstawie pisemnego zlecenia Dziekana Wydziału Oceanotechniki i Okrętownictwa Politechniki Gdańskiej Pana dr hab. inż. Janusza Kozaka, L. Dz. WO/O/200/2016 z dnia 24 maja 2016 r, na podstawie rozprawy doktorskiej wydanej w 2016 r., pod wyżej podanym tytułem.

2. Ocena i geneza podjętego tematu

Rozwój napędów okrętowych od drugiej połowy XIX do początku XXI wieku przeszedł radykalne przemiany w sposobach konwersji energii do wytwarzania siły naporu powodującej przemieszczanie się obiektów oceanotechnicznych. Nastąpiła ewolucja od czystej energii wiatrowej wykorzystywanej na żaglowcach, poprzez ciepło spalania paliw kopalnych: stałego (węglu kamiennego), ciekłego (paliwa żeglugowego) i gazowego (LNG) przetwarzanych w energię mechaniczną ruchu obrotowego w silnikach cieplnych. Rozwojowi transportu morskiego w tym okresie towarzyszył intensywny postęp techniczny w rozwoju napędów okrętowych, a w tym silników cieplnych: tłokowych maszyn parowych i silników o zapłonie samoczynnym, jak również turbozespołów parowych i silników turbospalinowych. Obok statków towarowych w żegludze światowej zaczęły funkcjonować jednostki wykonujące inne, specjalne zadania transportowe, statki projektowane według zróżnicowanych, specjalnych kryteriów, takie jak statki pasażerskie, lodołamacze, statki typu RO-RO, promy, holowniki, jednostki militarne, statki typu *Offshore* oraz jachty sportowe i rekreacyjne o wysublimowanych zdolnościach manewrowych, między innymi pozycjonowani. Na pewnych etapach rozwoju technologicznego okrętownictwa zaistniała możliwość zastosowania napędów elektrycznych, o innych właściwościach i charakterystykach niż silników cieplnych. Możliwym stało się skrócenie łańcucha przemian energetycznych w układach z przekładnią elektryczną z turbozespołami parowymi (S.S. Normandie) i diesel-elektryczną na statkach, typu RO-RO czy też zbiornikowcach LNG (DF-DE – ang. Dual Fuel-Diesel Electric) oraz z ogniwami paliwo-

wymi. Silnik elektryczny zastosowany w charakterze napędu głównego można było wynieść poza kadłub jednostki uzyskując korzystniejsze charakterystyki masowo-gabarytowe napędu. Nie bez znaczenia była tu podatność silników elektrycznych do sterowania napędem jednostki (np. liniowiec pasażerski RMS Queen Mary 2 z kombinowanym układem napędowym typu CODAG z dwoma śrubami o skoku ustalonym i dwoma pędnikami gondolowymi).

Poszukiwanie sprawnego, a tym samym krótkiego łańcucha przetwarzania energii, w układach napędowych statków morskich, łatwo sterowalnego, spowodowało podejmowanie prób projektowania i wprowadzania silników elektrycznych w napędach okrętowych.

Dążąc do uzasadnienia podjętego w rozprawie tematu Autor w rozdziale pierwszym trafnie zauważył, iż jednym z bardziej rozwijających się współcześnie rodzajów okrętowych układów napędowych jest układ diesel-elektryczny z pędnikami azymutalnymi.

W porównaniu z konwencjonalnym napędem składającym się z wału śrubowego i steru, poza mniejszym zużyciem paliwa, pędniki azymutalne zapewniają znaczną poprawę własności hydrodynamicznych i zajmują mniej miejsca w kadłubie. Lepsza sterowność statków wyposażonych w azipody pozwala im na operowanie w bardziej ograniczonej przestrzeni oraz w trudniejszych warunkach morskich, a znaczne wyeliminowanie hałasu i drgań zapewnia większy komfort pasażerom i załodze. Napędy elektryczne coraz chętniej stosowane są na małych jednostkach śródlądowych oraz rekreacyjnych. Stosowanie wówczas dodatkowego źródła energii, jakim mogą być baterie solarne zastępuje konwencjonalne źródła energii nieodnawialnej. Fakty te czynią azymutalne napędy elektryczne niezwykle perspektywicznymi dla napędów okrętowych, a ich doskonalenie projektowe zagadnieniem otwartym.

Recenzowana rozprawa jest kontynuacją zainteresowań badawczych Autora, zainicjowanych startem studentów zrzeszonych w Kole Naukowym Korab na Politechnice Gdańskiej w regatach łodzi z napędem elektrycznym, zasilanych energią słoneczną. Start w regatach o randze mistrzostw świata w Holandii był inspirującym początkiem doświadczeń Kandydata z napędem elektrycznym stosowanym na małych obiektach pływających. Problemy projektowania i eksploatacji napędów tego typu stały się obszarem tematycznym rozwoju kwalifikacji Doktoranta, stanowiąc jego utylitarne podstawy, sformułowane wcześniej w przywołanej literaturze [21, 24], w tym również współautorstwa Doktoranta [22, 25, 26, 27, 28]. Wygenerowały one tezę oraz problem badawczy rozprawy doktorskiej, dotyczący możliwości i efektywności chłodzenia silnika elektrycznego w napędzie gondolowym, doskonale sprawdzającym się na dużych jednostkach.

W rozprawie Autor podjął odważną próbę sformułowania, a następnie rozwiązania niezwykle złożonego, ale jakże aktualnego i ważnego problemu.

Tym samym, trafność wyboru tematu rozprawy wychodzi naprzeciw wyzwaniom energetyki współczesnego okrętownictwa, a rozwiązanie zawartego w nim problemu badawczego świadczy o jej atrakcyjności technicznej oraz wartości utylitarnej wyników.

3. Charakterystyka ogólna, źródła literaturowe, cel i zakres pracy

Recenzowaną pracę zredagowano i wydrukowano łącznie na 126. stronach z afiliacją Wydziału Oceanotechniki i Okrętownictwa Politechniki Gdańskiej. Rozprawa składa się z ośmiu ponumerowanych rozdziałów merytorycznych obejmujących 122 strony z *Uwagami i wnioskami końcowymi* oraz *Bibliografią*. Układ pracy jest skonfigurowany stosownie do jej

specyfiki oraz zakresu i sposobu rozwiązania problemu badawczego, z poprawnym następstwem rozdziałów.

Wykaz przywołanych źródeł literaturowych zawiera 76 pozycji podanych w kolejności cytowania, w tym 24. pozyskanych z adresów internetowych *on line* (bez podanych dat dostępności). Spośród zamieszczonych, 40 źródeł opublikowanych zostało po roku 2000, a więc liczą mniej niż 16. lat. Dokonaną analizę istniejącego stanu wiedzy w zakresie tematu badań oparto na źródłach obejmujących informacje dotyczących:

- napędów okrętowych [1, 2, 3, 9, 34, 64, 65] ,
- okrętowych napędów elektrycznych i hybrydowych [4, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 13, 15, 16, 17, 18, 19, 21, 22, 23, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 35, 36, 43, 44, 47, 48, 57, 60, 61, 62, 63, 70, 71, 72],
- problemów eksploatacji projektowania i eksploatacji elektrycznych pędników azymutalnych małych jednostek pływających [3, 18, 19, 21, 26, 27]
- oraz kilku wskazujących na możliwość sportowego charakteru wykorzystania jednostek napędzanych silnikami elektrycznymi, wykraczających poza potrzeby recenzowanej rozprawy [22, 23].

Autor rzetelnie odniósł się do prac własnego środowiska naukowego, przywołując opublikowane rezultaty prac badawczych [18, 19, 21, 22, 25, 26, 27, 28, 68] realizowanych na Wydziale Oceanotechniki i Okrętownictwa Politechniki Gdańskiej, dotyczących doświadczeń projektowania, sterowania oraz eksploatacji jednostek pływających zasilanych energią słoneczną. W bibliografii cytowanych jest sześć współautorskich prac Kandydata [18, 18, 22, 25, 26, 28] oraz jedna samodzielna [27].

Wykaz zamieszczonych źródeł bibliograficznych dowodzi dobrej znajomości literatury przedmiotu przez Autora. Na jej podstawie Doktorant dokonał w rozdziale drugim oceny stanu wiedzy dotyczącej silników elektrycznych stosowanych współcześnie w okrętownictwie szczególnie do napędu małych statków i łodzi oraz samych napędów elektrycznych konwencjonalnych, azymutalnych i pędników gondolowych, których konstrukcji poświęcono więcej uwagi w podrozdziale 2.3. Synteza wiedzy na temat problemów w budowie i eksploatacji pędników gondolowych oparta na wiedzy literaturowej [8, 24, 38, 60, 6, 62, 63, 44, 67, 29, 14, 33] oraz na doświadczeniach w budowie jednostek solarnych prowadzonych na Politechnice Gdańskiej [68] doprowadziła do sformułowania problemu badawczego, w postaci tezy i celu rozprawy w rozdziale trzecim.

Celem pracy było „poznanie sprawności oraz procesu wymiany ciepła w układzie podowego pędnika z wysokomomentowym silnikiem elektrycznym małej mocy w zależności od zastosowanego czynnika chłodzącego oraz parametrów pracy układu”. Jest to cel poznawczy do którego osiągnięcia należało rozwiązać cele cząstkowe, utylitarne, tutaj nie wyartykułowane.

Zakres eksperymentu obejmował badania na dwóch stanowiskach wpływu różnych czynników chłodzących na proces wymiany ciepła między silnikiem elektrycznym a jego środowiskiem. Zakres teoretyczny pracy obejmował analizę wyników pomiarów oraz opracowanie statystyczne wyników badań elektrycznego układu napędowego, tym samym wyznaczając zakres rozprawy w odniesieniu do narzędzi badawczych w niej zastosowanych, a nie do zadań i treści merytorycznych.

4. Analiza i ocena merytoryczna rozprawy

Rozdział pierwszy określony w pracy jako „*Wstęp – geneza tematyki*” jest faktycznie wprowadzeniem i równocześnie wieloaspektowym uzasadnieniem podjęcia tematu badawczego. Poczynając od pierwszych okrętowych napędów elektrycznych początku XX wieku Kandydat nakreślił ich rozwój na statkach pasażerskich i wybranych rodzajach statków specjalnych, układy diesel-elektryczne (przekładnie elektryczne) aż po podowe elektryczne napędy azymutalne współczesnych jednostek o zastosowaniach specjalnych. Przedstawiono niezaprzeczalne zalety napędów elektrycznych, w tym również w skojarzeniu z wykorzystaniem energii solarnej. Kandydat połączył je z doświadczeniami budowy małych jednostek stosowanych w publicznym transporcie wodnym, np. tzw. tramwaje wodne, statki rekreacyjne coraz częściej wyposażane w napęd elektryczny [15], [16], [17]. W rozdziale tym wskazano na doświadczenia własne Doktoranta, współuczestniczącego w budowie kilku takich projektów na Politechnice Gdańskiej, do których należy między innymi pierwsza pasażerska łódź solarna w Polsce [18], [19]. Ujawniono wówczas problemy w projektowaniu i budowie, które były inspiracją do podjęcia tematu, sformułowania tezy i celu rozprawy, przedstawionych w rozdziale trzecim.

Rozdział drugi „*Obecny stan wiedzy*”, dotycząc wiedzy na temat:

- silników elektrycznych stosowanych do napędu statków i małych łodzi;
- napędów elektrycznych statków i małych łodzi;
- konstrukcji pędników gondolowych;
- problemów eksploatacji i budowy pędników gondolowych,

jest jakościowym rozpoznaniem wiedzy z przywołaniem literatury na temat przedstawionej przestrzeni zagadnień, w której umieszczono problem badawczy rozprawy. Przedyskutowano znaczenie współczesnych technologii elektrycznych napędów gondolowych dla rozwoju okrętownictwa, dokonując ich klasyfikacji według takich wspólnych cech jak: konstrukcja zespołu napędowego i wielkość mocy elektrycznej napędu, nie podejmując krytycznej oceny istniejącego stanu wiedzy w zakresie tematu badań. Na tak zbudowanych podstawach, w rozdziale trzecim zatytułowanym „*Teza, cel i zakres pracy*” „ostrożnie” sformułowano tezę, cel i zakres rozprawy.

Sformułowany cel pracy, jako „...poznanie sprawności oraz procesu wymiany ciepła w układzie podowego pędnika z wysokomomentowym silnikiem elektrycznym małej mocy w zależności od zastosowanego czynnika chłodzącego oraz parametrów pracy układu”, jest faktycznie celem poznawczym, a którego osiągnięcie wymagało rozwiązania zadań cząstkowych o aplikacyjnym charakterze, których nie wyłoniono w sposób jawny. W rozumieniu recenzenta należy go uznać za cel główny rozprawy. Osiągnięcie celu głównego wymagało realizacji celów cząstkowych, poprawnie sformułowanych i wyszczególnionych w postaci identyfikacji w rozdziale 3 na str. 42.

Zdefiniowanie zakresu pracy ograniczono do zastosowanych narzędzi badawczych („praca objęła część eksperymentalną i teoretyczną”), a nie do jej obiektów badań i treści merytorycznych. Częścią teoretyczną pracy nazwano przesadnie procedurę analizy wyników pomiarów oraz jak określił Doktorant „przygotowanie modelu obliczeniowego układu napędowego opisującego jego sprawność”. Część eksperymentalną, obejmującą badania „wpływu rodzaju czynnika chłodzącego na proces wymiany ciepła między silnikiem elektrycznym

a otoczeniem”, przedstawiono w rozdziale czwartym, zatytułowanym „*Badania eksperymentalne*”. Rozdział jest prezentacją narzędzi warsztatu badawczego, które Doktorant zastosował podczas realizacji pracy. Zawiera on opis „wyspecjalizowanego” warsztatu badawczego (podrozdz. 4.1), na które składało się stanowisko z 2007 r. zbudowane na potrzeby badań silników stosowanych w łodziach regatowych zasilanych energią słoneczną oraz stanowiska pozwalającego na obciążanie zespołów napędowych do mocy 6 kW z hydraulicznym układem obciążenia silnika i z rozbudowanym zbiornikiem oleju w formie chłodnicy powietrzno-wodnej. Dzięki temu zauważalnie wydłużył się czas przeprowadzania badań i stabilność układu obciążania oraz poprawiono zakres oraz warunki pomiarów. Opisane stanowiska badawcze zaprojektowane i wykonane samodzielnie są indywidualnym osiągnięciem doktoranta. Rozdział czwarty uzupełniają i wzbogacają podrozdziały 4.2.: Akwizycja danych i kalibracja torów pomiarowych z: 4.2.1 i 4.2.2 zawierające testy i kalibracje układu do pomiaru mocy mechanicznej i elektrycznej.

Zbudowany układ pomiarowy przetestowano z kalibracją torów pomiarowych oraz filtrów zastosowanych w programie akwizycji i przetwarzania wyników pomiarów, w ramach pilotażowych serii pomiarowych. Ich celem było sprawdzenie wiarygodności i powtarzalności pomiarów w obserwacjach wyznaczających charakterystyki kilku silników (rys. 4.8). Tak przyjęta procedura postępowania w eksperymencie świadczy o dobrej znajomości i wyczuciu metodologii badań przez Kandydata. Pozwoliło to na zapewnienie realizacji doprecyzowanych serii pomiarowych, co dowodzi dojrzałości przygotowania Doktoranta do prowadzenia w przyszłości prac naukowo-badawczych.

W rozdziale piątym zatytułowanym „*Prezentacja wyników eksperymentu*”, „ze względu na dużą ilość zarejestrowanych danych przedstawiono tylko najważniejsze wykresy temperatury uzwojenia silnika oraz sprawności energetycznej układu”. Zamieszczono je w podrozdziałach: 5.1 dla *Silnika chłodzonego powietrzem*: 1. Wykresy temperatury silnika w czasie dla różnych prędkości obrotowych i wartości obciążenia; 2. Wykresy sprawności układu w czasie dla różnych prędkości obrotowych i wartości obciążenia; za którymi na str. 66 stwierdzono iż: „Sprawność układu mierzona była równocześnie z temperaturą i jak można zauważyć na wykresach dla mocy 400 W, uzyskuje najwyższe wartości.”; 5.2 dla „*Silnik chłodzony olejem o mniejszej lepkości*” zawierającego: 1. Wykresy temperatury silnika w czasie dla różnych prędkości obrotowych i wartości obciążenia; 2. Wykresy sprawności układu w czasie dla różnych prędkości obrotowych i wartości obciążenia. Podobnie postąpiono w podrozdziałach: 5.3. *Silnik chłodzony olejem o większej lepkości* oraz 5.4. *Silnik chłodzony wodą*.

Rozdział szósty „*Opis matematyczny*” jest przetworzeniem wyników pomiarów (a nie opisem matematycznym) zmian sprawności zespołu napędowego w zależności od mocy mechanicznej w zakresie 250W-650W, prędkości obrotowej śruby w zakresie 10/s do 18/s oraz własności fizycznych czynnika chłodzącego. Zarejestrowane podczas pomiarów i obliczone wartości sprawności aproksymowano wielomianem drugiego stopnia (w podrozdz. 6.1 „*Aproksymacja przebiegów parametrów zmierzonych*”, równanie 1 str. 90) w środowisku Excel, uzyskując zależność sprawności w funkcji mocy mechanicznej i prędkości obrotowej, dla przestrzeni pędnika wypełnionej powietrzem, olejem o mniejszej i większej lepkości oraz wodą. W podrozdziale 6.2 zatytułowanym „*Interpolacja przebiegów sprawności wielomianami trzeciego stopnia*” przedstawiono rezultaty interpolacji przebiegów sprawności wielomianami trzeciego stopnia według równania 2, nie uzasadniając kryterium wyboru postaci

wielomianu. W tabelach 6.7 – 6.14 zamieszczono *Wartości obliczonych współczynników D_i , E_i , F_i , G_i z równania opisującego rozkład sprawności*, dla wszystkich przypadków badanego środowiska pracy silnika elektrycznego, nie podając sposobu ich określenia, a zastępując go uwagą” *Źródło: Opracowanie własne*, niepotrzebną, ponieważ rozprawa jest autorstwa Doktoranta. Podrozdział 6.3 nieadekwatnie zatytułowany *Wprowadzenie do zależności mocy mechanicznej* podobnie lakonicznie zredegagowany jak 6.2, ograniczony do nazwania zbioru czterech równań do obliczenia współczynników D_i , E_i , F_i , G_i w postaci wielomianów drugiego stopnia Równaniem 3, bez podania warsztatu i środowiska w którym wykonano obliczenia zawiera podobnie tabele 6.15 – 6.18 i graficznie zinterpretowane zależności sprawności układu od prędkości obrotowej wału śrubowego dla różnych wartości mocy w zakresie 300-650 W. Do obliczenia sprawności posłużono się zależnością w postaci równania 4, w której argumentami są moc P oraz prędkość obrotowa n . Równanie to rozwinęto w podrozdziale 6.4 uwzględniając lepkość kinematyczną oraz gęstość cieczy, w której pracował silnik, poprzez zdefiniowanie postaci współczynników, a których zbiór określono jako równanie 6. Współczynniki te podstawiono do równania 4 otrzymując równanie 6, które uproszczono poprzez wprowadzenie zmiennej λ jako równanie 7, opisującej zależność opartą na własnościach fizycznych czynnika chłodzącego – lepkości kinematycznej i gęstości. Po podstawieniu równania 7 do równania 6 otrzymujemano ostateczną postać funkcji opisującej sprawność układu w zależności od analizowanych zmiennych w postaci równania 8. Rozdział szósty, pomimo ogromnej liczby wyników, nie zaowocował żadnymi wnioskami, nie przeprowadzono żadnej analizy wartości obliczonych współczynników, które mogą nieść wiele informacji poznawczych.

Rozdział siódmy poświęcono *Porównaniu wyników*, sprowadzając je do graficznego przedstawienia na rysunkach 7.1 – 7.20, według tego samego schematu jak w rozdziałach piątym i szóstym oraz lakonicznej informacji, co do ich zawartości na początku rozdziału. Rozdział zamknięto porównaniem wartości błędów procentowych poszczególnych wariantów/sposobów chłodzenia silnika elektrycznego, nie dokonując analizy porównywanych wyników. W opisie współrzędnych rysunków 7.11, 7.14, 7.17, 7.20 pojawia się pojęcie „błędu procentowego”, do którego Autor odniósł się wyrywkowo w akapicie na końcu rozdziału na stronie 116.

Rozprawę zamykają *Uwagi i wnioski końcowe*, jako rozdział ósmy, w którym podsumowano zakres zrealizowanych działań przewidzianych w ramach rozwiązania problemu badawczego, wskazując na ich utylitarny charakter. Stwierdzono (w 8.1. Podsumowaniu, str. 117), że na podstawie „przeprowadzonych pomiarów udało się stworzyć zależność matematyczną opisującą sprawność układu pracującego w określonym czynniku z określoną mocą i prędkością obrotową. Zależność jest źródłem informacji o zjawiskach jakie pojawiają się w trakcie pracy układu”, co nie jest w pełni zgodne z prawdą, nie jest ona oparta na związkach opisujących zjawiska fizyczne (np. równaniach zachowania), a wynika ze statystycznego opracowania wyników pomiarów.

5. Krytyczna analiza rozprawy

Rozdział drugi „*Obecny stan wiedzy*” tylko w pewnym stopniu, częściowo, dotyczy zagadnienia, jakie powinno wynikać z tytułu rozprawy: „*Wpływu własności czynnika chłło-*

dzącego oraz geometrii i parametrów pracy wysokomomentowego silnika elektrycznego na sprawność podowego pędnika małej mocy” W rozdziale tym, Autor poprawnie, metodycznie przedstawił stan wiedzy na temat konstrukcji i parametrów pracy silników elektrycznych do napędu jednostek pływających w podrozdz. 2.1, a pozostałą część rozdziału poświęcono pędnikom okrętowym (podrozdz. 2.2), zespołom/układom napędowym (podrozdz. 2.3) i problemom związanym z ich eksploatacją (podrozdz. 2.4), obejmując tym samym całość problematyki związanej z napędami elektrycznymi jednostek pływających.

Na początku rozdziału 2 Doktorant powinien podkreślić lub rozdzielić merytorycznie (tytuł podrozdz. 2.1: *Silniki elektryczne stosowane do napędu statków i małych łodzi*), ponieważ skupia się na statkach małych, łodziach itp., a nie wszystkie przedstawione silniki elektryczne pozwalają na ich wykorzystanie na dużych statkach (o dużej mocy silnika napędowego), ze względu na ograniczenia technologiczne

Przy podziale silników elektrycznych stosowanych w napędach Doktorant wymienia silniki asynchroniczne (str. 15). Należałoby dokonać podziału tych silników na silniki asynchroniczne pierścieniowe i silniki asynchroniczne klatkowe. Silniki pierścieniowe, dzięki dostępie do wirnika (posiadają dwa wejścia: do stojana i do wirnika) mają możliwość kształtowania charakterystyki mechanicznej, natomiast silniki klatkowe (posiadając jedno wejście – do stojana) nie mają takiej możliwości, co autor powinien uwzględnić w pracy.

Doktorant nie przedstawił/zauważył powszechnego wykorzystania układów przekształtnikowych, które dzięki nowym technologiom energoelektronicznym i zaawansowanym układom sterowania pozwalają formować dowolnie charakterystyki mechaniczne silników. Energoelektroniczne przekształtniki są jednym z ważniejszych elementów decydujących o stosowaniu obecnie napędów elektrycznych.

Sformułowanie, że silnik asynchroniczny „...Słabo znosi niskie prędkości obrotowe..” (str.15) jest niezrozumiałe. Dzięki układom przekształtnikowym i nowoczesnemu sterowaniu (np. metody polowo zorientowane) istnieje możliwość sterowania silnikiem w całym przedziale prędkości z zachowaniem optymalnych własności mechanicznych

Doktorant stwierdza, że „Kluczowym powodem rozwoju napędów elektrycznych na jednostkach pływających jest również ekologia” (str. 19). Nie jest to jednak prawdą dla statków morskich, gdzie energia elektryczna wytwarzana jest przez zespoły napędowe/przekładnie elektryczne typu DE (ang. Diesel Electric), które mają większe jednostkowe zużycie paliwa niż wolnoobrotowe silniki o zapłonie samoczynnym napędu głównego. Podane stwierdzenie jest prawdziwe dla małych jednostek pływających, korzystających z zasobników energii elektrycznej. Do najważniejszych zalet napędów elektrycznych typu DE, decydujących o ich stosowaniu, co słusznie zauważa w rozprawie Doktorant, należy ich:

- niezawodność,
- łatwość sterowania/manewrowania,
- koszty inwestycji i eksploatacji,
- oszczędność miejsca w siłowni,
- komfort podróży.

W ocenie stanu wiedzy przedmiotu brak jest ustosunkowania się do informacji w literaturze dotyczącej modelowania matematycznego napędów elektrycznych pędników małej mocy stanowiącej przedmiot pracy. Jego brak w rozprawie nie pozwala na konfrontację wy-

ników przeprowadzonych i prezentowanych w rozprawie eksperymentów z analizą teoretyczną procesu chłodzenia silników elektrycznych w pędnikach azymutalnych. Fakt ten nie umniejsza aktualności przywołanej w pracy literatury i atrakcyjności tematu badawczego.

W rozdziale trzecim „Teza, cel i zakres pracy” stwierdzono iż:

- Identyfikacja... umożliwi wyznaczenie matematycznego zapisu tej zależności”, nie precyzując jakiej zależności;
- Zaproponowany model matematyczny pozwoli „...dokonać wyboru właściwego czynnika chłodzącego i parametrów silnika ...”, w czasie przyszłym.

Uważając postulaty te *a priori* za prawdziwe, po sformułowaniu zależności w postaci *Równania 8* na str. 105 w rozdziale szóstym, a które jest niewątpliwym osiągnięciem Doktoranta, nie dokonał on w dalszej części pracy egemplifikacji tej możliwości, co mogłoby być równoczesną walidacją oczekiwanych wyników badań.

Opisany w rozdziale trzecim zakres pracy, ograniczono *de facto* do „części eksperymentalnej” – badań „wpływu rodzaju czynnika chłodzącego na proces wymiany ciepła między silnikiem elektrycznym a otoczeniem, nie nazywając tamże bliżej obiektów badań.

Rozdział czwarty „Badania eksperymentalne” został skonstruowany nie metodycznie. *Opis badanego układu napędowego* jako obiektu badań (podrozdz. 4.3) powinien znaleźć się w *Opisie „wyspecjalizowanego stanowiska badawczego”* (podrozdz. 4.1). Poprzedza on *Opis warunków pracy* (podrozdz. 4.4), który w zasadzie jest rozszerzeniem informacji o obiekcie badań. Jego zakończeniem jest bardzo oszczędnie napisana i nie zidentyfikowana jako program badań sekwencja na str. 56, zawierająca częściową informację o programie badań. Program badań znalazł swoje miejsce również w akapicie na początku rozdziału piątego, na str. 57 zatytułowanego „Prezentacja wyników eksperymentu.”

Stwierdzenie na str. 66 w rozdziale piątym, iż: „Sprawność układu mierzona była równocześnie z temperaturą i jak można zauważyć na wykresach dla prędkości obrotowej „17/5 obr/s” (błędny zapis) uzyskuje najwyższe wartości” jest informacją nieprawdziwą. Wcześniej nie zdefiniowano sprawności układu, która nie mogła być mierzona a została obliczona na podstawie zmierzonych wielkości pośrednich. W zakończeniu każdego z podrozdziałów Autor zamieścił wnioski szczegółowe do każdego z nich, jednak nie skonfrontowano ich z wynikami w planie całego eksperymentu. W zakończeniu rozdziału piątego zabrakło syntezy wyników pomiarów i wniosków pod kątem wykorzystania ich w rozdziale szóstym, który powinien nosić nazwę Opracowanie i analiza wyników eksperymentu. Rozprawa nie została przez Doktoranta wyeksploatowana informacyjnie.

6. Uwagi ogólne

Pomimo, iż praca jest o charakterze eksperymentalnym nie dopracowano w niej takich elementów jak identyfikacja obiektów badań, program badań, plan eksperymentu oraz dyskusja oceny wiarygodności wyników eksperymentu.

W pracy zaniechano analizy niepewności pomiarowej i błędu obliczeń, jako podstawy do dyskusji wyników badań, zawężonej w rozdziale siódmym do wzajemnej oceny wartości maksymalnych (str. 116), niezbyt precyzyjnie określonego „błędu procentowego”, np. w podpisach rysunków np. 7.11 „*Błąd procentowy wartości sprawności obliczonych względem użytych pomiarów, dla silnika pracującego w wodzie*”. W pracy zauważa się brak wykazu

oznaczeń i symboli, jak również lokalnych opisów wielkości, np. równanie 5 na str. 103 lub równań 7 i 8 na str. 105.

Sposób podania źródeł literaturowych w „Bibliografii” jest w dużej części niepełny, np. (brak numeru czasopisma, brak numerów stron [25, 26, 27,...], nie podawano daty dostępności adresów internetowych np. [14, 37,42 ,68,...], recenzent nie uzyskał dostępu do stron internetowych np. [49, 53]. W pracy znajdują miejsce:

- skróty myślowe typu np.: „Na rys. 1.6 widać start do jednego z etapów wyścigu łodzi dwuosobowych (str. 11); ...instalacja napędu elektrycznego statku LNG w rejonach arktycznych” podpis pod rysunkiem 1.3, str. 9;
- bardzo ogólny lub nieprecyzyjny opis warsztatu naukowego, np: opisowy charakter na temat sposobu „...oszacowania sprawności układu określanej na podstawie pomiaru np. napięcia i natężenia prądu na zaciskach zasilających układ”, zamiast wzoru str. 44; można dzięki niej z dość dużą dokładnością określić sprawność układu po umieszczeniu silnika w zadanym czynniku (w 8.1. Podsumowaniu str. 117),
- *nieprecyzyjności terminologiczne*, np. w rozdz. piątym, w podrozdz. 5.1.1 w podpisie rysunku Wykres 5.1. Wyniki pomiarów zmiany temperatury silnika w czasie, dla różnych prędkości obrotowych, przy obciążeniu mocą $P=300$ W. Z rysunku wynika, że są to wartości temperatury w różnych sekwencjach czasowych a nie zmiany.

Do powtarzających się niepoprawności redakcyjnych i edytorskich zaliczam:

- rozpoczynanie podrozdziałów od rysunku np. rysunki 5.1, 5.2 w rozdz. 5, rysunki 6.1, 6.2, 6.3...w rozdz. 6.; itd..., bez słów komentarza.

Występujące nieścisłości terminologiczne, stylistyczne i redakcyjne oraz powtórzenia, np. w rozdz. pierwszym „wykorzystującym...w wykorzystaniu” str. 5. Reasumując, strona edytorska, szata graficzna oraz zastosowana terminologia są niekiedy dyskusyjne.

Nie bacząc na powyższe, należy stwierdzić, iż przedłożone opracowanie, zredagowane językiem o różnym stopniu komunikatywności, wystarczająco precyzyjnie prezentuje zawarte w nim treści merytoryczne. W rozprawie można zauważyć następujące elementy decydujące o jej dysertabilności:

1. Aktualność problemu badawczego oraz pionierski charakter nierozpoznanego i niezbadanego dotychczas tematu rozprawy, związany ze sposobem eksploatacji podwoju zespołu napędowego.
2. Zasięg badanej problematyki, który obejmuje rozległe środowisko energetyki okrętowej funkcjonującej w realnym systemie uwarunkowań technicznych, ochrony środowiska morskiego i ograniczeń ekonomicznych.
3. Osiągnięcie naukowe w rozpatrywanym zakresie wiedzy, rozwojowe dla możliwości poznawczych przyszłych badań. Osiągnięciem pracy jest uniwersalny charakter analizy wyników pomiarów uzyskany na bazie wzajemnych relacji własności poszczególnych czynników chłodzących, pomiędzy parametrami geometrycznymi, parametrami eksploatacyjnymi silnika elektrycznego a sprawnością podwoju układu napędowego, wyrażony równaniem, sformułowanym w postaci równania 8 na stronie 105 rozprawy.

Recenzowana rozprawa doktorska zawiera nie tylko dużą wartość poznawczą, ale i użyteczną. Rozprawa jest opracowana na swój sposób nowatorski, w tematyce i sposobie zredagowania raportu z przeprowadzonych badań. Dlatego jako recenzent dostrzegłem w niej elementy, które inspirują do zadania następujących pytań:

1. Jakie kryteria zdecydowały o wyborze postaci funkcji opisującej wyniki eksperymentu i jakie zastosowano miary jej oceny?
2. Na czym powinna polegać modyfikacja planu eksperymentu w skali technicznej i eksperymentu symulacyjnego oraz zmiany w metodzie przyszłych badań, które pozwolą innemu badaczowi osiągnąć wyniki rozszerzone o relacje pomiędzy strumieniami energii zasilającymi zespół napędowy a strumieniami energii zapotrzebowanej do napędu małej jednostki pływającej?

1. Podsumowanie i konkluzja

Współczesny poziom rozwiązania problemu badawczego w rozprawie wsparto najnowszą wiedzą opublikowaną w selektywnie dobranych naukowych publikacjach krajowych i zagranicznych, cytowanych periodykach i materiałach konferencyjnych. Na tym tle w podsumowaniu recenzji pracy doktorskiej przedstawiam następującą opinię:

1. Rozpatrywane w rozprawie zadania rozwiązano i opracowano z uwzględnieniem aspektów aplikacyjnych wynikających ze szczególnej aktualności badanego zagadnienia.
2. Nowością naukową, stanowiącą oryginalny dorobek Doktoranta jest propozycja zastosowania opisu badanych zjawisk.
3. Praca zawiera oryginalne elementy w warstwie studialnej badań eksperymentalnych.
4. Pozytywnej oceny rozprawy nie podważają podnoszone w recenzji szczegółowe uwagi krytyczne. Część z nich może być przedmiotem dyskusji.
5. Recenzowana praca dokumentuje bogatą wiedzę i umiejętności praktyczne jej Autora połączoną ze zdolnościami inżyniera XXI wieku, współczesnego badacza i wskazuje na umiejętności Doktoranta do prowadzenia złożonego projektu badawczego.

Zaprezentowane w rozprawie informacje są w przeważającej części oryginalnym, autorskim dorobkiem naukowym Doktoranta. Na uwagę zasługuje fakt, że zawarte w rozprawie wyniki zostały uzyskane podczas złożonych, wieloetapowych badań w skali technicznej i symulacyjnych.

Przewaga wartości poznawczych i merytorycznych o charakterze użytkowym nad niedociągnięciami edytorskimi sprawia, iż recenzowaną pracę oceniam pozytywnie. Biorąc pod uwagę powyższe stwierdzam, że rozprawa mgr inż. Wojciecha Leśniewskiego pt.: *„Ocena wpływu własności czynnika chłodzącego oraz geometrii parametrów pracy wysokomomentowego silnika elektrycznego na sprawność podowego pędnika małej mocy”* spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim zawarte w Ustawie z dnia 14 marca 2003 roku (Dz.U. nr 65 poz.595) o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki.

W związku z powyższym przedkładam opiniowaną pracę Radzie Wydziału Oceanotechniki i Okrętownictwa Politechniki Gdańskiej i proponuję dopuszczenie mgr inż. Wojciecha Leśniewskiego do publicznej obrony.

Andrzej Adamkiewicz
.....
Dr hab. inż. Andrzej Adamkiewicz, prof. AMS