

*Dr hab. inż. Andrzej Adamkiewicz,  
b. prof. AKADEMII MORSKIEJ w SZCZECINIE  
aktualnie Politechnika Morska w Szczecinie  
Adres domowy:  
ul. Kcyńska 5 m 6, 81-005 Gdynia  
e-mail: [andrzej.adamkiewicz2@wp.pl](mailto:andrzej.adamkiewicz2@wp.pl)*

Gdynia, 23.02.2023 r.

## **Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Moniki Jabłońskiej**

pt.: Wpływ parametrów druku 3D na właściwości eksploatacyjne  
wybranej okrętowej części maszynowej

### **1. Podstawa opracowania recenzji**

Podstawą wykonania recenzji jest Uchwała nr 52/2022 Rady Dyscypliny Naukowej, Inżynieria Mechaniczna, Federacji Akademii Wojskowych z dnia 20 grudnia 2022 r., przekazana Recenzentowi z pismem z dnia 03.01.2023 r., sygnowanym przez Koordynatora Dyscypliny Naukowej Inżynieria Mechaniczna, Pana dr hab. inż. Andrzeja Komorka, prof. LAW.

Recenzję opracowano na podstawie rozprawy doktorskiej, wydanej drukiem w 2022 r., pod wyżej podanym tytułem, z afiliacją Wydziału Mechaniczno-Elektrycznego Akademii Marynarki Wojennej w Gdyni.

Mgr inż., Monika Jabłońska, aspirująca po raz pierwszy, do stopnia doktora nauk technicznych, dyplom magistra inżyniera uzyskała na Wydziale Mechanicznym Wyższej Szkoły Morskiej w Gdyni, na kierunku: Technologia remontów urządzeń okrętowych i portowych, w dniu 23.06.1998 r., na podstawie obrony pracy dyplomowej p.t.: „Charakterystyka powłok metalowych i niemetalowych”, wykonanej pod kierunkiem dr inż. Mirosława Czechowskiego.

Mgr Inż. Monika Jabłońska, jako asystent personelu badawczo-dydaktycznego Wydziału Mechaniczno-Elektrycznego Akademii Marynarki Wojennej, realizuje działalność dydaktyczną w zakresie Komputerowego wspomagania CAD / CAM, Zintegrowanych systemów wytwarzania, Grafiki inżynierskiej, Materiałoznawstwa oraz Podstaw Konstrukcji Maszyn. Równocześnie Kandydatka, od roku 2015, pełniąc funkcję Kierownika Pracowni Symulacji Procesów Spawania, prowadzi działalność badawczo-naukową, której eksternalizacją, jest współautorski artykuł w czasopiśmie naukowym z listy MNiSW i MEiN, dwa referaty na krajowych konferencjach naukowo-technicznych, jak również recenzowana rozprawa, jako rozwinięcie zainteresowań badawczych Kandydatki.

### **2. Aktualność, geneza i ocena podjętego tematu**

Zarządzanie eksploatacją układu energetycznego statku morskiego realizowane jest zgodnie z wymaganiami ISM Code, przepisami Towarzystw Klasyfikacyj-

nych oraz z obowiązującą systemową strategią eksploatacji (ang. TPM Total Productive Maintenance strategy), najczęściej zastępowana strategią mieszaną opartą na:

- strategii planowo zapobiegawczej PPM (ang. Planned Preventive Maintenance) oraz według stanu technicznego CBM (Condition Based Maintenance),
- wymaganiach Przepisów Klasyfikacji i Budowy Statków Morskich lub/i Okrętów Wojennych,
- przepisach producenta urządzenia/maszyny.

Jego realizacja dostosowana do wymagań armatora nie optymalizuje nakładów ekonomicznych na technikę i bezpieczeństwo.

Z tego też powodu przyjęta strategia eksploatacji, zależnie od wyników dokonywanych analiz bieżących, powinna być korygowana. Dlatego coraz częściej pojawia się potrzeba poszukiwania innych dróg i metod umożliwiających wydłużenie czasów pracy maszyn, poprzez wykonywanie napraw doraźnych, w tym z wykorzystaniem części zamiennych, innych niż zapasowe normatywne, a wytworzone, np. metodami druku 3D, dla doraźnego wykonania zadania przez okręt. Utrudniony dostęp do części zamiennych podczas rejsu jednostki pływającej, generuje problem badawczy niniejszej rozprawy.

Z uwagi na fakt, iż brakuje w strategiach utrzymania wiarygodnego oparcia na analizie ryzyka technicznego, do którego niezbędnym byłoby dysponowanie danymi, spełniającymi kryterium kompletności i wiarygodności w postaci umożliwiającej ich przetwarzanie do oceny ryzyka, w przypadku uszkodzenia lub awarii części – przejścia w stan niezdatności, w rozprawie zaproponowano, alternatywne rozwiązanie problemu badawczego, poprzez wytwarzanie, metodą druku 3D potrzebnej części zapasowej.

W przedstawionych realiach eksploatacji urządzeń okrętowych druk 3D dotychczas nie został zauważony, wdrożony, nie stanowi, jak dotychczas elementów strategii eksploatacji i nie jest przedmiotem Przepisów Klasyfikacji i Budowy Statków Morskich oraz odpowiednio dla okrętów, Przepisów Klasyfikacji i Budowy Okrętów Wojennych.

W rozprawie podjęto więc odważną próbę sformułowania, a następnie rozwiązania złożonego, ale jakże aktualnego problemu eksploatacji, dotychczas nie umocowanego prawnie w systemach eksploatacji jednostek pływających.

Temat przedłożonej do recenzji rozprawy wywodzi się bezpośrednio z narastającej konieczności dostosowywania strategii eksploatacji układów energetycznych okrętów do zmieniających się wymagań i możliwości logistycznych armatorów, został sformułowany właściwie i obejmuje zagadnienia ważne, z poznawczego i użytecznego charakteru prac naukowo-badawczych.

Uwzględniając powyższe, uważam, że podjęta tematyka pracy jest aktualna i wychodzi naprzeciw wyzwaniom współczesności okrętownictwa.

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

Recenzowaną pracę zredagowano i wydrukowano łącznie na 140. stronach, z afiliacją Wydziału Mechaniczno-Elektrycznego Akademii Marynarki Wojennej w Gdyni. Rozprawa składa się z *Wykazu ważniejszych skrótów i oznaczeń*, *Wstępu*,

sześciu ponumerowanych rozdziałów merytorycznych obejmujących 105 stron, rozdziału siódmego zatytułowanego *Podsumowanie rozprawy*, rozdziału ósmego *Wnioski, Literatury, Streszczenia* w języku polskim oraz trzech *Załączników* do podrozdziałów 3.3.2, 3.4.1 i 3.5.4.

Układ pracy jest skonfigurowany stosownie do specyfiki jej tematu pracy oraz zakresu i sposobu rozwiązania problemu badawczego, z poprawnym następstwem rozdziałów merytorycznych 1-6.

Spośród oznaczeń wielkości stosowanych pracy, w *Wykazie ważniejszych skrótów i oznaczeń*, znalazło się 13 oznaczeń wielkości, zestawionych bez ustalonych zasad opisów bibliograficznych.

*Wstęp* rozprawy, poprawnie oszczędny, przedstawia osadzenie problemu naukowego w danej dziedzinie, z uwzględnieniem historycznego rozwoju kontekstu problemu technologii druku 3D, wraz z celem i pytaniami badawczymi. Nakreślono syntetycznie zakres rozprawy oraz wykorzystane metody i narzędzia badawcze. Zastosowano w tym celu formułę raportu ze zrealizowanej pracy.

Wykaz przywołanych źródeł literaturowych zawiera 117 pozycji podanych w kolejności alfabetycznej od pozycji 1. do pozycji 95. Pozostałe pozycje od 96 do 117 stanowi 12 adresów internetowych, trzy pozycje przepisów i publikacji informacyjnych Polskiego Rejestru Statków z lat 2020-2022, normy oraz Dziennik urzędowy.

Spośród zamieszczonych 117 źródeł w literaturze rozprawy, 112 pozycji wydano po roku 2000, a spośród tych, 69 źródeł prezentuje wiedzę z ostatnich 10. lat, z okresu 2012-2022. Oznacza to, że dokonaną analizę istniejącego stanu wiedzy oparto na współczesnej, aktualnej merytorycznie literaturze, w zakresie tematu badań, dotyczących:

- wpływu parametrów druku 3D na własności i strukturę produktu [10, 14, 22, 31, 38, 40, 49, 50, 51, 52, 53, 76, 78, 85, 89, 90, 91, 92] (18 pozycji);
  - badań właściwości materiałów kompozytowych [6, 13, 26, 30, 33, 34, 47, 54, 55, 59, 75, 82, 83, 87, (15 pozycji);
  - zastosowań materiałów kompozytowych w strukturach przemysłowych [9, 12, 20, 27, 42, 43, 57, 67, 68, 71, 81, 88, 94, 95] (14 pozycji);
  - technologii druku 3D [7, 8, 15, 21, 24, 29, 58, 60, 61, 63, 72] (11 pozycji);
  - teorii eksperymentu i pomiarów oraz metod badawczych [19, 23, 37, 41, 44, 45, 55, 48, 56, 64, 65] (11 pozycji);
  - fizyki badanych procesów [25, 35, 36, 39, 62, 66, 69, 73, 74, 77] (10 pozycji).
  - zastosowania oceny ryzyka i niezawodności w utrzymaniu części maszyn [5, 16, 17, 70, 79, 86] (6 pozycji);
  - problemów zarządzania utrzymaniem maszyn okrętowych [1, 2, 3, 4, 5] (5 pozycji);
- Powyższe dowodzi właściwego doboru literatury, adekwatnie do problematyki rozprawy.

Na podstawie badań literaturowych, mgr inż. Monika Jabłońska w obszernym, 28-stronicowym rozdziale pierwszym, zatytułowanym *Analiza technologii przyrostowych druku 3d* dokonała oceny stanu wiedzy. Przedstawiła wyczerpująco wybrane techniki wytwarzania przyrostowego w kolejności chronologicznej ich powstawania, wybrała technologię addytywną do wytworzenia części maszynowej metodą analizy

wielokryterialnej, konfrontując ją z uwarunkowaniami procesu technologicznego modelowania warstwowego przez wytłaczanie (FDM), z parametrami druku. Metodą SWOT zdecydowano, iż dalszymi badaniami zostaną objęte poliaktyd i politereftalan etylenu glikolu wzmocniony włóknem węglowym.

Stwierdzono, iż poza nielicznymi wzmiankami w publikacjach naukowych, brak jest literatury traktującej o wpływie parametrów druku na właściwości eksploatacyjne wytworzonych części maszyn, brakuje szczegółów dotyczących parametrów procesu technologicznego i metod ekwiwalentnych badań ich własności.

W związku z tym, synteza stanu wiedzy, w rozdziale drugim rozprawy, zawierającym genezę problemu badawczego, cel główny, poznawczy i użytkowy oraz zakres pracy doprowadziła do *Sformułowania problemu badawczego*.

Celem głównym pracy było potwierdzenie możliwości zastosowania technologii druku 3D do wytworzenia części maszynowej, jako duplikatu, do dokonania doraźnej naprawy maszyny lub urządzenia okrętowego, z zachowaniem cech produktu o parametrach obiektu normatywnego/projektowego. Poszukiwanie dróg osiągnięcia tak postawionego celu głównego, doprowadziło do sformułowania następującej tezy rozprawy:

*Wydruk części okrętowej w technologii niemetalicznej 3D w sytuacjach awaryjnych, podczas eksploatacji w morzu, zapewni wytworzenie potrzebnej części, która umożliwi naprawę uszkodzonej maszyny lub uszkodzenia i zapewni ciągłość jej pracy. Właściwości mechaniczne i eksploatacyjne niemetalicznej części zapasowej zapewnią wymaganą trwałość w założonym okresie, czego konsekwencją będzie bezpieczeństwo techniczne żeglugi i personelu.*

Doktorantka podała, iż udowodnienie tezy nastąpi w kolejnych krokach, osiągając tzw. cele pośrednie: poznawcze i użytkowe.

Celem poznawczym było rozpoznanie procedur, możliwości i ograniczeń wykonania wybranej części maszynowej w technologii 3D w warunkach okrętowych, natomiast celem użytkowym, było opracowanie metody wykonania części, w technologii 3D z zastosowaniem wybranego filamentu oraz sprawdzenie przydatności eksploatacyjnej wykonanej części maszynowej, o parametrach kwalifikującej ją, do doraźnej naprawy urządzenia.

Oparty na celu i tezie rozprawy plan badań rozprawy, wyznaczył jej zakres, przewidujący:

- Wybór metody druku 3D i filamentu do badań w rozprawie, metodą analizy wielokryterialnej;
- Badania eksperymentalne właściwości wybranych filamentów i ich wybór na podstawie wyników badań;
- Sprawdzenie dokładności odwzorowania geometrii części/wirników;
- Badania eksperymentalne użytkowych charakterystyk naprawionej pompy;
- Weryfikację geometrii badanych wirników po próbach eksploatacyjnych.

W rozdziale 3 przedstawiono cel i program badań eksperymentalnych wykonanych w Laboratorium Podstaw Techniki Akademii Marynarki Wojennej i Laboratorium Badań Materiałów Politechniki Śląskiej. Przedmiotem badań wybranych filamentów była

ocena ich własności wytrzymałościowych, skłonności/zdolności do absorpcji wilgoci, a także badania mikroskopowe struktury. Badania przeprowadzono na specjalnie zaprojektowanych próbkach wykonanych z polilaktydu (PLA) i politereftalanu etylenu glikolu wzmacnianego włóknem węglowym (PETG CF). Analizę właściwości mechanicznych próbek metodą MES przeprowadzono metodą badań symulacyjnych procesu rozciągania próbek wykonanych metodą FDM omówiono w podrozdz. 3.4.1, natomiast właściwości filamentu przy zginaniu w podrozdz. 3.4.2. Wiarygodność wyników badań gęstości filamentów potwierdziła ich analiza statystyczna.

W rozdziale 4. dokonano *wyboru i identyfikacji cech eksploatacyjnych obiektu badań*. Uzasadniono jego wybór oraz zidentyfikowano użytkowe właściwości eksploatacyjne pompy wirowej. Na podstawie doświadczeń eksploatacji w instalacjach ogólnokrętowych układów pompowych jednostek pływających, jak również na stanowiskach dydaktycznych laboratoriów siłowni okrętowych uczelni morskich, w rozprawie wybrano w charakterze obiektu badań wirnik jednostopniowej krążeniowej pompy wirowej SKA.5.01 firmy Hydro - Vacuum S.A Grudziądz, stosowanej w instalacjach hydroforowych wody słodkiej lub słonej. W podrozdz. 4.2 opisano Użytkowe właściwości eksploatacyjne pompy wirowej, determinowane przez konstrukcję i stan techniczny kanałów międzyłopatkowych wirnika, których mierzalnymi parametrami jest użyteczna wysokość podnoszenia  $H_u = f(\dot{Q})$ , ciśnienie w rurociągu ssącym  $p_s$  i tłocznym  $p_t$ , wydajność  $\dot{Q}$ , prędkość obrotowa wirnika  $n$  i moc potrzebna do napędu silnika elektrycznego  $P_u$ , sprawność pompy  $\eta_p$  oraz całego zespołu pompowego  $\eta_0$ . Wielkości te przyjęto równocześnie jako kryterialne do weryfikacji stanu wirnika wytworzonego metodą 3D w rozdz. 6.

Rozdział 5., zatytułowany *Technologia wytwarzania wirnika pompy*, prezentuje autorską ścieżkę postępowania w opracowaniu procesu wytwarzania wirnika pompy do zastosowania okrętowego. Rozdział rozpoczyna opis zastosowanego sposobu odwzorowania geometrii, wybranego do badań, wirnika pompy okrętowej. Wynika to z założenia w celu rozprawy, z powodu braku dokumentacji modelu przestrzennego wirnika do wytworzenia na jednostce, podczas podróży morskiej. Zdecydowano o odwzorowaniu wirnika za pomocą skanera optycznego wykorzystującego technologię triangulacji. Drobiazgowo przedstawiono procedurę wydruku wirników okrętowej pompy wirowej w technologii FDM.

Dla oceny poprawności odtworzenia geometrii piasty wirnika wytworzonego przez drukarkę 3D, sporządzono analizę porównawczą z modelem CAD, natomiast dokładność odwzorowania wirników polimerowych sprawdzono skanerem optycznym. Procedurę oceny dokładności odwzorowania wirników przedstawiono na przykładzie wirnika numer 3., który wykazał się najlepszą trwałością, zapewnił najdłuższą pracę pompy wirowej, opisano w rozdziale szóstym. Wyniki skanowania wydrukowanego wirnika, porównywano z pomiarami wirnika referencyjnego, z brązu cynowego, którego geometria stanowiła punkt odniesienia do kolejnych etapów inżynierii odwrotnej.

Rozdział 6. zatytułowany „*Ocena możliwości zastosowania wykonanych wirników w wybranej technologii FDM do naprawy doraźnej pompy*”, ma na celu potwierdzenie w sposób eksperymentalny, zgodny z założonymi celami i przyjętą tezą, że

przedstawione w rozprawie do rozwiązania problemu badawczego metody, procedury, procesy, urządzenia laboratoryjne, aparatura pomiarowa, filamenty, czynności i działania, rzeczywiście prowadzą do osiągnięcia celu głównego pracy – awaryjnego wytworzenia części maszynowej z materiałów niemetalowych o wymaganych właściwościach. Działania te są de facto walidacją rozprawy. Rozdział składa się z opisu stanowiska laboratoryjnego, programu eksperymentu, realizacji, przebiegu i i analizy wyników eksperymentu, analizy przełomów wirników i podsumowania.

Wyniki badań eksperymentalnych dokumentujące osiągnięcie celu użytecznego rozprawy odzwierciedlają: graficznie charakterystyki eksploatacyjne na rysunkach 6.4-6.7, weryfikacja cech konstrukcyjnych wirnika w tabeli 6.5 oraz obrazy wirników na rys. 6.8-6.10. Udokumentowaniem osiągnięcia celu poznawczego rozprawy jest analiza przełomów wirników, oparta na zdjęciach przedstawionych na rysunkach 6.11-6.16.

W „*Podsumowaniu rozprawy*” i „*Wnioskach*” zamykających rozprawę jako rozdział 7. i 8. stwierdzono wykonanie pracy zgodnie z programem badawczym oraz szczegółowymi planami rozdziałów. Z każdego rozdziału wyprowadzono wnioski szczegółowe. W syntezie podsumowania rozprawy stwierdzono, iż wyniki rozprawy, potwierdziły słuszność tezy sformułowanej w podrozdziale 2.2.

Wyznaczone kierunki dalszych badań należy uznać za sformułowane poprawnie, chociaż specyfika problemu badawczego wyznacza granice tych możliwości.

#### **4. Ocena rozprawy**

- Zdaniem recenzującego tematyka pracy jest ważna i środowiskowo nowatorska. Praca jest podzielona na logiczne, wynikające z układu pracy rozdziały.
- Rozprawa obejmuje zbadanie właściwości eksploatacyjnych okrętowej części maszynowej w zależności od zastosowanych parametrów druku w wybranej technologii druku 3D. Badania te poprzedziło opracowanie metodyki, która umożliwiła wybór odpowiedniej technologii przyrostowej, filamentu oraz wykonanie badań własności materiałów. Efektem tych działań było wyznaczenie relacji pomiędzy charakterystyką materiału, a parametrami druku, oraz charakterystykami eksploatacyjnymi badanej części – wirnika.
- Przedmiotem badań jest zależność właściwości eksploatacyjnych części okrętowej od parametrów druku 3D. Badania te obejmują swoim zakresem określenie właściwych parametrów druku 3D w wybranej technologii, umożliwiające wydruk na oczekiwanym poziomie rozwoju technologicznego (gwarantujący, np. niezbędną trwałość i niezawodność pracy urządzenia).
- Recenzowana rozprawa, wpisując się w aktualność problematyki utrzymania stanu zdolności maszyn i urządzeń okrętowych, jest przyczynkiem do zapewnienia części zapasowych, szczególnie na jednostkach specjalnych, różnicując optykę wdrożenia proponowanej metody w stosunku do jednostek, w zależności od stopnia ograniczenia rejonu pływania i jej autonomiczności. W każdym przypadku pozostaje ona domeną decyzji armatora.

- Konstytutywny charakter powiązania parametrów druku z własnościami określonymi podczas prób wytrzymałościowych i kondycjonowania próbek w komorze klimatycznej należy uznać za element dysertabilności recenzowanej rozprawy.

Tym samym, uzyskane wyniki badań eksperymentalnych i ich opracowanie teoretyczne uważam za oryginalne osiągnięcie badawcze rozprawy.

Wyznaczone kierunki dalszych badań należy uznać za sformułowane poprawnie, chociaż specyfika problemu badawczego wyznacza granice ich możliwości.

## 5. Uwagi krytyczne i dyskusyjne

- W zakończeniu rozdziału 3. *Badania eksperymentalne właściwości wybranych filamentów*, w podrozdz. 3.6 *Podsumowanie*, stwierdzono: „Na podstawie wyników eksperymentu wybrano do druku części okrętowej filament politereftalan etylenu glikolu wzmocniony włóknem węglowym. Filament ten posiada dobre właściwości mechaniczne i niską higroskopijność. Wydruki cechują się stabilnością wymiarową i wysoką trwałością. Wybrany materiał rokuje własności spełniające wymagania dla filamentu przeznaczonego do wydruku części okrętowej i oczekiwaną trwałość w późniejszej eksploatacji w warunkach okrętowych.” Na etapie rozdziału 3. Jeszcze nie badano właściwości wydruków, nie znane były kryteria, na podstawie których, politereftalan etylenu glikolu wzmocniony włóknem węglowym miałby zapewnić oczekiwaną trwałość (w domyśle planowana do badań wybrana część maszynowa) w późniejszej eksploatacji.
- Proszę o wyjaśnienie stwierdzenia podanego w podpisach rysunków 3.18-3.23 „procentu wypełnienia 100%” oraz w podpisach rysunków 3.21-3.23 „wzór wypełnienia – ekwidystanta”.
- W podsumowaniu podrozdz. 3.5.3. Określenia absorpcji wody, na str. 71 stwierdzono: „W przedstawionych wynikach badań absorpcji skoncentrowano się na rozszerzeniu zbioru parametrów druku do ośmiu, mając na uwadze perspektywę dalszych badań i wyboru filamentu PETG CF. Najmniejsza absorpcja została ujawniona w próbce wydrukowanej z wysokością warstwy 0,12 mm, prędkości druku 30 mm/s i 100% wypełnieniu (patrz tabela 3.16, parametry druku dotyczące wiersza ósmego).” Ze względu na wagę wniosku dla dalszych badań, proszę o rozwinięcie skrótu myślowego (jakich ośmiu parametrów i dlaczego?) i ustosunkowanie się do wymienionej wartości najmniejszej absorpcji, na tle innych wyników.
- W podsumowaniu oceny dokładności odwzorowania wirnika pompy wirowej w pkt. 5.4 (str.90) Doktorantka na podstawie omówionych wyników wnioskuję: „Stwierdzone odchyłki wymiarów nie mają wpływu na współpracę wirnika z innymi zespołami, natomiast mogą wpływać na procesy przepływowe,” nie przywołując podstawy takiego wnioskowania. Proszę o uzasadnienie/dyskusję tezy, w aspekcie pracy naprawionej pompy, jako przepływowej maszyny wirnikowej.
- Występujące nieliczne nieścisłości terminologiczne, stylistyczne i redakcyjne oraz skróty myślowe, można uznać za konsekwencje redakcji tekstu i formatowania rozprawy, o znikomym znaczeniu dla jej całości.

Recenzowana rozprawa zawiera nie tylko wartość poznawczą, ale przede wszystkim użyteczną. Dlatego jako recenzent dostrzegłem w rozprawie elementy, które inspirowały do zadania jej Autorowi następujących pytań:

1. Jakże aspekty metodyczne rozwiązania programu badawczego, wynikające z doświadczeń eksploatacji maszyn okrętowych, zdecydowały o konstrukcji programu badań eksperymentalnych wybranych filamentów, przedstawionych w rozdz. 3 rozprawy?
2. Czy kondycjonowanie próbek w komorze klimatycznej może na jednostce być pominięte w procesie wytwarzania części maszynowej?
3. Dysponując wynikami niniejszej rozprawy, czy można i należałoby, zmodyfikować plan eksperymentu w przyszłych badaniach, deklarowanych w podsumowaniu rozprawy?

## 6. Uwagi ogólne

- Innowacyjność badań przedstawionych w rozdziale 3 i 5 rozprawy, posiada wyjątkową wartość naukową, polegającą na poddaniu badaniom właściwości mechanicznych wybranych filamentów do wykonania części maszynowej - wirnika pompy okrętowej metodą addytywną, a ich wyniki są unikatowe.
- Autorka rozprawy rzetelnie odniosła się do dorobku własnego środowiska naukowego, przywołując w bibliografii trzy prace [80,81,82], z otoczenia przedmiotu rozprawy, realizowane na Wydziale Mechaniczno-Elektrycznym Akademii Marynarki Wojennej w Gdyni.
- Przedstawiona do recenzji rozprawa ma znaczenie użyteczne, ponieważ wynika z zapotrzebowania środowisk związanych z okrętownictwem i żegluga, ujawniając w tym zakresie istotny udział Akademii Marynarki Wojennej.
- Z rozdziału 6. wynika, iż opracowana przez mgr inż. M. Jabłońską technologia druku 3D do doraźnej naprawy urządzeń okrętowych, po szerszym potwierdzeniu wyników badań, może aspirować i być polecana do wdrożenia przez Armatorów.
- Wnikliwa walidacja rozprawy w rozdziale 6 poprzez pozyskanie charakterystyk eksploatacyjnych pomp z badanymi wirnikami, w opinii recenzującego, zdecydowanie wzbogaciło wartość rozprawy, zwiększyło jej unikalną wartość poznawczą. Rozprawa w tym zakresie nie została przez Doktorantkę dostatecznie wyeksploatowana informacyjnie.

## 7. Uwagi szczegółowe

- Str. 3. *Wykaz ważniejszych skrótów i oznaczeń* nie zawiera żadnego skrótu, chociaż cała praca przesyciona jest skrótami, np. począwszy od strony 7: „FDM, SLA, SLS, EBM,...,DED, SLM, np. w tabeli 3.1. PLA, PETG CF, str. 47 CKO”, itd.
- W *Wykazie ważniejszych skrótów i oznaczeń* nie wymieniono wielu wielkości, występujących w zależnościach rozprawy, stosując niepotrzebnie legendy pod każdym wzorem. Dla przykładu, podano takie wielkości jak np. odkształcenia



$\varepsilon_f, \varepsilon_{f'}$ , strzałki ugięcia  $f', f''$ , oraz  $b$ , oznaczającą szerokość (próbki), powtarzane następnie wielokrotnie we wnętrzu pracy, np. na stronach 60 i 61.

Tą samą szerokość próbki  $b$ , na stronie 21, we wzorze (1.1), jako całkowitą szerokość (filamentu) oznaczono  $w$ , a na stronie 43, we wzorze (3.1) jako  $w$  oznaczono nominalną długość (jednej strony?). We wzorze (1.1)  $d$  jest średnicą dyszy, natomiast we wzorze (3.1)  $d$  jest nominalną grubością, a w Wykazie ważniejszych skrótów i oznaczeń wielkości te nie znalazły w ogóle miejsca. Zastosowanie w rozprawie jednego, kompletnego Wykazu ważniejszych skrótów i oznaczeń, zapobiegłoby wieloznaczności oznaczeń w związkach matematycznych i zwiększyłoby jednoznaczność treści i czytelność rozprawy.

- Str. 3. Jest na końcu Wykazu...:  $R_a$  – parametr stanu powierzchni, należało zdefiniować precyzyjnie, czego dotyczy parametr, adekwatnie do zastosowania.
- We Wstępie zabrakło nawiązania do oceny literatury źródłowej, stanowiącej podstawę badań, które Autor sprawozdaje w pracy.
- Str. 52, Jest  $\sigma$  – naprężenia, Pa, powinno być naprężenie.
- Str. 52-53, w tabelach 3.4 i 3.5, jak również w podpisach rysunków 3.18-3.23 występuje wielkość  $E$ , nigdzie tutaj nie nazwana, natomiast na str. 85, we wzorze (5.1) istnieje  $E$  – długość ekstrudowanego filamentu, mm, i równocześnie  $SF$  – gęstość wypełnienia objętości próbki, %, gdzie we wzorze (3.3)  $\bar{\rho}$  – gęstość pozorna, kg/m<sup>3</sup>. Proszę o wyjaśnienie definicyjne tych wielkości.
- Str. 53-54, w tabeli 3.6 napisano „jak w zdaniu – Właściwości ogólne”, natomiast „Właściwości Mechaniczne Sprężyste i Właściwości Mechaniczne Plastyczne” jak nazwy własne, powinno być – jak w zdaniu.
- Str. 60. Na rys. 3.25  $\varepsilon_f$  – odkształcenie zginające podano w [%], natomiast w zdaniu pod rysunkiem podano w postaci ułamka dziesiętnego, np. „...największe odkształcenie zginające wynosi 0,0349...”, powinno być zgodnie z wzorem definicyjnym (3.2) na str. 51.
- Str. 62. Tytuł podrozdziału „3.5. Badanie chłonności wody przez próbki w komorze klimatycznej” jest nieprecyzyjny merytorycznie.”
- Str. 62. Proszę o zdefiniowanie pojęcia właściwości: „odporność cieplna filamentu” i ustosunkowanie się do tezy „Wraz ze wzrostem ilości wody w tworzywie maleje odporność cieplna filamentu,...”
- Str. 69. „Zależność 3.10 potwierdza, że przedział (1,31415; 1,32118) obejmuje wartość średnią wynoszącą 68,3%. Dla przyjętego zakresu pomiarowego 1,27 g/cm<sup>3</sup> ÷ 1,3 g/cm<sup>3</sup> próbek filamentu z materiału Polilaktyd (PLA), wartość oczekiwana gęstości wynosi 1,285 g/cm<sup>3</sup>” Jako recenzent nie znalazłem zależności 3.10. Może jest to błąd edytorski? A miało być 3.7. Na str. 70. Podano: „Otrzymany obraz graficzny rozkładu gęstości dla materiału polilaktydowego jest jednomodalny. Prawdopodobieństwo, że otrzymany wynik mieści się w przedziale 1,2794 g/cm<sup>3</sup> ÷ 1,2893 g/cm<sup>3</sup> wynosi 68,3%.” Proszę o skonfrontowanie ze sobą obydwu wyników wartości średniej, przedziałów i omówienie

ich znaczenia dla wyboru filamentu. Na stronie tej przywołano wzór 3.11, którego recenzujący również nie znalazł w rozprawie.

- Str. 114. Trzeci wiersz od dołu, jest: „Przyjęta hipoteza badawcza,...”, powinno być: „...teza...”.
- Str. 119. Dwukrotnie użyto w pozycji literatury 28 „Wydawnictwo Helion”, powinno być jeden raz, na końcu wiersza, przed Gliwice 2014.
- Str. 117-124, Dane bibliograficzne pozycji literatury: [1, 2, 9, 13, 23, 27, 28, 43, 47, 51, 53, 65, 66, 75, 86, 93] są niekompletne, nie zapewniają identyfikacji źródła. Interpunkcja w pisowni nazwisk i imion jest niekompletna, brakuje kropek przy pierwszych literach imion wielu autorów publikacji;
- Str. 123-125. 12 adresów internetowych w Literaturze, nie posiada dat dostępu.

## **8. Podsumowanie i konkluzja**

Współczesny poziom rozwiązywania problemu badawczego w rozprawie, oparty na gruntownej, najnowszej wiedzy na temat technologii 3D, opublikowanej w precyzyjnie dobranych naukowych publikacjach krajowych, i materiałach konferencyjnych, zrealizowano w oparciu o aktualny stan wiedzy przedmiotu i warsztatu badawczego.

Kandydatka wykazała bardzo dobrą skalą umiejętności posługiwania się złożonymi technikami pomiarowymi, jak i umiejętnością przeprowadzenia pracochłonnych badań eksperymentalnych, opracowania i interpretacji wyników oraz ich szerokiej dyskusji.

Struktura rozprawy tworzy logicznie przemyślaną i spójną całość, potwierdzając dojrzałość Autorki do prowadzenia badań naukowych.

Rozprawa zawiera sformułowanie ważnych w inżynierii mechanicznej zadań badawczych, ich rozwiązanie i dyskusję wyników.

Na tym tle, w podsumowaniu recenzji rozprawy doktorskiej przedstawiam następującą opinię:

1. Sformułowane w postawionych celach i rozpatrywane w pracy zadania, rozwiązano i opracowano z uwzględnieniem aspektów aplikacyjnych, wynikających z aktualności przedmiotu badań.
2. Zaprezentowane w rozprawie informacje są oryginalnym, autorskim dorobkiem naukowym Doktorantki.
3. Nieliczne uwagi krytyczne podnoszone w recenzji, nie podważają pozytywnej oceny rozprawy.

Przewaga wartości merytorycznych o charakterze użytecznym nad niedociągnięciami edytorskimi sprawia, iż recenzowaną pracę oceniam pozytywnie. Biorąc powyższe pod uwagę stwierdzam, że rozprawa mgr inż. Moniki Jabłońskiej pt.: „Wpływ parametrów druku 3D na właściwości eksploatacyjne wybranej okrętowej części maszynowej” spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim zawartym 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 (Dz. U. Nr 65, poz. 595, z późn. zm.)

i w art. 179 ust. 1 ustawy z dnia 3 lipca 2018 r. Przepisy wprowadzające ustawę – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. poz. 1669).

W związku z powyższym, przedkładam opiniowaną pracę Radzie Dyscypliny Naukowej Inżynieria Mechaniczna Federacji Akademii Wojskowych i wnioskuję dopuszczenie jej do publicznej obrony.

Andrzej Adamkiewicz

.....