

dr hab. inż. Jarosław Gałkiewicz, prof. PŚk
Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn
Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn
Politechniki Świętokrzyskiej
Al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7
25-314 Kielce

Kielce, dn. 20-07-2022

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Justyny Koziarskiej pod tytułem "Uwzględnienie odkształcenia plastycznego przy wyznaczeniu trwałości w jednoosiowym stanie obciążenia", wykonanej pod kierunkiem prof. dra hab. inż. TADEUSZA ŁAGODY z Wydziału Mechanicznego Politechniki Opolskiej

Opis identyfikacyjny: rozprawa doktorska w postaci zwartego wydawnictwa sygnowanego przez Politechnikę Opolską (2022).

Podstawa formalno-prawna:

- pismo prof. dr hab. inż. Tadeusza Łagody, Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Opolskiej z dnia 8 lipca 2022 (syg. RNDIM/144/22),
- Ustawa z dnia 3 lipca 2018r. - Przepisy wprowadzające ustawę – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. 2018 poz. 1669),
- Ustawa o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003 r. (Dz. U. z 2017 r., poz. 1789),
- Uchwała nr 363 Senatu Politechniki Opolskiej z dnia 16 października 2019 w sprawie zasad przeprowadzania przewodów doktorskich, postępowań habilitacyjnych i postępowań o nadanie tytułu profesora w Politechnice Opolskiej wszczętych i niezakończonych przed dniem 1 października 2019,
- Uchwała nr 24/2022 Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Opolskiej z dnia 7 lipca 2022.

OCENA PRACY DOKTORSKIEJ

A. Wprowadzenie

Głównym zamierzeniem Autorki rozprawy była ocena wpływu na wyniki badań zmęczeniowych uwzględnienia skończonych odkształceń oraz gradientu naprężeń. Badania prowadzono na szerokiej grupie materiałów obejmujących stale, mosiądz i stopy aluminium. Założono, że wykorzystanie skończonych odkształceń w analizach dużych obciążeń poprawi wyniki oraz że za pomocą badań elementów obciążanych naprężeniami liniowo zmiennymi w krytycznym przekroju można wyznaczyć prawidłowe charakterystyki zmęczeniowe materiału. Tematyka podjętego zagadnienia lokuje się w ramach dziedziny nauk inżynierijno-technicznych w dyscyplinie inżynieria mechaniczna.

Mimo, że z problemami zmęczeniowymi przemysł boryka się od początku rewolucji przemysłowej ciągle brak spójnej teorii pozwalającej określać wytrzymałość zmęczeniową elementów konstrukcyjnych. Winowajcą tego

Wpłynęło dn. 09.08.2022

L. dz. RNDIM/15/2022

stanu rzeczy jest niewiarygodny stopień skomplikowania procesów zmęczeniowych co skutkuje bardzo dużą liczbą zmiennych wpływających na wyniki. Sytuacja jest o tyle trudniejsza w porównaniu do innych dziedzin nauki, że badanie zmęczenia opiera się głównie na doświadczeniu. Dlatego bardzo ważne jest powstawanie tego typu prac, które stanowią kolejną cegiełkę w procesie lepszego zrozumienia zjawiska zmęczenia i bardziej precyzyjnego określania zachowania się elementów konstrukcyjnych pod wpływem zmiennych obciążeń. Wymiernym efektem pracy Koziarskiej może być też obniżenie kosztów badań zmęczeniowych dzięki zastąpieniu testów rozciąganie-ściskanie testami zginania.

Pracę na stopień Autorka rozpoczęła od zwięzłego przedstawienia problematyki która uwypukla konieczność prowadzenia badań nad zjawiskiem zmęczenia. Dalej przedstawia popularne charakterystyki zmęczeniowe, różnicę między inżynierskimi i skończonymi odkształceniami co prowadzi ją do sformułowania celów i zadań badawczych. Następnie przedstawiła metodykę badań własnych i uzyskane rezultaty. Rozprawę zakończono wnioskami z przeprowadzonych badań i analizy danych literaturowych oraz zaleceniami co do kierunków dalszych badań.

Podsumowując zamierzenia Autorki pracy i mając na uwadze stan wiedzy należy przyjąć, iż problem uwzględnienia odkształcenia plastycznego przy wyznaczaniu trwałości zmęczeniowej w jednoosiowym stanie obciążenia jest ambitnym, aktualnym i istotnym problemem w zakresie badań podstawowych i stosowanych. Wynika to zarówno ze stopnia skomplikowania procesów zmęczenia jak i popularności problemów zmęczeniowych, które skutkują konkretnymi stratami ekonomicznymi i dotyczą niemal każdej dziedziny techniki. Wyniki uzyskane w pracy będą miały zastosowanie praktyczne, a próby uwzględnienia nie tylko odkształceń plastycznych, ale i liniowego rozkładu naprężeń w krytycznym przekroju mają interdyscyplinarny charakter, gdyż łączą w sobie zagadnienia z zakresu fizyki, mechaniki teoretycznej i eksperymentalnej oraz budowy maszyn. Nie można tu pominąć aspektów ekonomicznych i społecznych rozważanego zagadnienia. Poszukiwanie poprawnego modelu zjawiska i szerzej skutecznego prognozowania żywotności obiektów jest bowiem niezwykle zasadne. Pozwala to więc stwierdzić, że wybór tematyki badawczej zawartej w przedłożonej rozprawie jest w jak najbardziej aktualny naukowo i aplikacyjnie.

B. Charakterystyka pracy

Praca doktorska składa się z dziesięciu rozdziałów i 20 podrozdziałów oraz wykazu literatury i streszczeń w języku polskim i angielskim. Monografia obejmuje 120 stron, zawiera 54 rysunki oraz 44 tabele. Autorka skorzystała z 65 pozycji literaturowych, wśród których można wyróżnić 10 prac, których jest współautorką, a stanowi je 7 artykułów w znanych periodykach naukowych (2 prace w czasopiśmie z listy MNiSW) i 3 artykuły pokonferencyjne.

We Wprowadzeniu Autorka bardzo krótko uzasadnia wagę tematyki pracy, którą zamierza się zająć.

Drugi rozdział stanowi przegląd podstawowych charakterystyk zmęczeniowych. Pani Justyna Koziarska przytacza charakterystyki zmęczeniowe z podziałem na charakterystyki naprężeniowe (w tej grupie właściwie tylko równanie Basquina), charakterystyki odkształceniowe (wyróżniając charakterystykę Mansona-Coffina-Basquina, Langerera, Kandila i Kurka-Łagody) i podejście energetyczne do określenia charakterystyki zmęczeniowej.

W kolejnym rozdziale Autorka przechodzi do przedstawienia literatury wykorzystywanej przy zgłębianiu wiedzy na temat uwzględniania odkształcenia plastycznego w analizie procesu zmęczenia. Pani Koziarska definiuje pętlę histerezy, wyjaśnia różnicę między odkształceniem inżynierskim a logarytmicznym, próbuje wyjaśnić różnicę między stałym a liniowo zmiennym rozkładem odkształceń i naprężeń w krytycznym przekroju uwydatniając różnicę w rozkładzie dla przypadku nieliniowego (po przekroczeniu granicy plastyczności).

W tym miejscu przegląd literatury jest przerwany rozdziałem prezentującym cel pracy. Głównym celem pracy jest analiza wpływu odkształcenia plastycznego na wyznaczone charakterystyki zmęczeniowe. Cele dodatkowym, który uważam za równie ważny jak główny jest sprawdzenie możliwości wyznaczania charakterystyk zmęczeniowych przy wykorzystaniu próbek obciążanych poprzez zginanie. Autorka nie nazywając wprost określa też zadania badawcze prowadzące do osiągnięcia celów pracy.

W kolejnym, piątym rozdziale pani Koziarska opisuje algorytm wyznaczania gradientu odkształcenia i naprężenia oraz wzory pozwalające na analizę wyników. Co ciekawe, ta część pracy rozpoczyna się przeglądem literatury, który przedstawiano dla innych zakresów pracy w rozdziale 3.

W bardzo krótkim rozdziale szóstym Doktorantka przedstawiła kilka parametrów charakteryzujących wybrane materiały. Szkoda, że są to zupełnie inne materiały niż te, poddawane analizie w dalszej części pracy. Mimo tytułu podrozdziału nie dopatrzyłem się opisu struktury materiałów.

Zamiarem kolejnego rozdziału jest przedstawienie prac badawczych przeprowadzonych samodzielnie w ośrodkach w Opolu i Bydgoszczy. Autorka prezentuje własności stali 16Mo3 oraz stopu aluminium 6083-T6, geometrie próbek i wykorzystywane maszyny wytrzymałościowe. W dalszej części rozdziału prezentowane są wyniki uzyskane dla obu materiałów obciążanych poprzez rozciąganie-ściskanie oraz wahadłowe zginanie przy kontrolowanym naprężeniu oraz odkształceniu. Wyniki badań są przytaczane w tabelach co jest dużą wartością i pozwala na samodzielne odtworzenie i weryfikację pracy Doktorantki. Wyniki posłużyły do wyznaczenia parametrów charakterystyk według modeli definiowanych w rozdziale drugim, ale z uwzględnieniem tematu pracy czyli biorąc pod uwagę sprężysto-plastyczne własności materiałów. Rozdział ten jest bardzo obficie ilustrowany.

W rozdziale ósmym pani Koziarska porównała wyniki uzyskane dzięki własnym badaniom z wynikami dostępnymi w literaturze. We wstępie dokładnie definiuje jakie materiały wzięła pod uwagę oraz skąd pochodziły analizowane dane. W kolejnych podrozdziałach przedstawione zostały wyniki analiz dla stali 30CrNiMo8, 10HNAP, SM45C, mosiądzu CuZn40PB2 i aluminium 2017A-T4.

W rozdziale dziewiątym wcześniej prezentowane wyniki zostały porównane z wynikami uwzględniającymi gradienty naprężeń i odkształceń. Następuje po sobie siedem podrozdziałów, każdy poświęcony prezentowanemu wcześniej materiałowi. Autorka wypełniła podrozdziały treścią według schematu: tabela z własnościami cyklicznymi materiału dla różnych sposobów obciążania według wybranych modeli, wykres amplitudy odkształcenia w funkcji liczby cykli i wykres amplitudy naprężenia w funkcji liczby cykli.

Ostatnim rozdziałem pracy są wnioski, w których Autorka zawarła główne rezultaty swojej pracy. Na podstawie przeprowadzonych badań oraz analizy wyników dostępnych w literaturze wykazano, że teoria dużych odkształceń jest użyteczna dla dużych obciążeń a więc dla niskocyklowego zakresu wytrzymałości zmęczeniowej. Wykazano również, że badania trwałości zmęczeniowej można prowadzić przy wykorzystaniu próbek zginanych, nawet przy dużych obciążeniach uzyskiwane wyniki dla różnych materiałów można było z powodzeniem porównywać z tymi uzyskiwanymi dla testów rozciągania-ściskania. Wymiernym efektem pracy jest wyprowadzenie zależności pozwalającej uwzględnić efekt gradientu naprężenia. W ramach podsumowania pracy pani Koziarska opisała zachowanie każdego z analizowanych materiałów i wytyczyła plany co do dalszej pracy naukowej.

C. Uwagi krytyczne i sugestie

Część merytoryczna

1. Na stronie 7 pracy napisała Pani: "Jednakże analizując wszelkie czynności, technologie i procesy w przemyśle należy zwrócić uwagę, że jednak większość z elementów metalowych jest poddanych zginaniu". Skąd taki kategoriyczny wniosek?

2. Pod koniec strony 10 wykorzystowała Pani dwa terminy "współczynnik wytrzymałości zmęczeniowej" oraz "rzeczywista wytrzymałość na pękanie". Czy może Pani bardziej szczegółowo zdefiniować te wielkości? Jeśli chodzi o zjawisko pęknięcia zwykle mówi się o odporności na pękanie a nie wytrzymałości na pękanie. W przypadku zmęczenia pierwszym etapem procesu jest faza inicjacji, gdzie nie można mówić o mechanice pęknięcia ani jej stosować ponieważ nie ma pęknięcia. W drugiej fazie - propagacji, stosujemy już mechanikę pęknięcia np. prawo Parisa. Stosunek długości poszczególnych faz zależy od rozkładu naprężenia (im on jest łagodniejszy tym faza propagacji jest dłuższa).

3. W ostatniej linii strony 10 użyła Pani terminu "największa wytrzymałość" czy chodzi o wytrzymałość doraźną czy naprężenia zrywające, czy może zupełnie inną wielkość?

4. Ponieważ na stronie 16 stosuje Pani własne nazewnictwo czy może Pani uściślić co to jest początkowa granica plastyczności, wytrzymałość końcowa (taką wielkość stosuje się przy ocenie wytrzymałości betonu w przypadku metali potrzeba długiego czasu żeby ujawnił się jego wpływ).

5. Na stronie 16 napisała Pani, że "koncentracja skupia się na części plastycznej, gdyż to właśnie ta część jest dużym problemem gdy następuje inicjacja pęknięcia. Czy może Pani wyjaśnić tę myśl?

6. Gdzie na Rys. 2 pojawia się cykliczna krzywa odkształcenia? Cykliczna krzywa odkształcenia przedstawia zależność między amplitudą

odkształcenia i naprężenia dla ustabilizowanych pętli histerezy, zaś na Rys. 2. pokazano zależność między amplitudą odkształcenia a ilością cykli do zniszczenia.

7. Na Rys. 3 przedstawiono przebieg statycznej próby rozciągania dla materiału bez przystanku na granicy plastyczności (tzn. z umowną granicą plastyczności). Dlaczego w tekście napisano, że jest to krzywa testu rozciągania-ściskania?

8. Odkształcenie nominalne przedstawia wzór 24 natomiast równanie 23 to wydłużenie.

9. Na stronie 20 napisała Pani: "Wynika z tego, że w przypadku odkształceń skończonych uzyskujemy mniejsze odkształcenia, którym towarzyszą większe naprężenia.". To dość niefortunne zdanie, z którego wynika, że dla tego samego stanu obciążenia odkształcenia rzeczywiste (skończone) są mniejsze niż inżynierskie. Skąd taki wniosek?

10. Jaki stan odkształcenia przedstawia Rys.5c?

11. Co to za kąt beta, o którym mowa w ostatnim zdaniu na stronie 21?

12. Rys. 7-8 przedstawiają wg Pani rozkład naprężeń w rozciąganej/ściskanej i zginanej próbce. Zważywszy na fakt, że oba typy obciążenia ją normalne do przekroju co przedstawiają rysunki? W takiej konfiguracji mogą co najwyżej przedstawiać ścinanie i skręcanie.

13. Użycie wytyłuszczonego zwrotu w zdaniu "W przypadku **małych odkształceń** rozkład odkształceń normalnych (...)" na stronie 24 w świetle definicji używanych na stronie 19 jest błędne. Lepsze byłoby stwierdzenie "odkształceń o małej amplitudzie".

14. Wielkość R we wzorze 35 jest niezdefiniowana, stwierdzenie "maksymalna wysokość" nic nie znaczy.

15. We wzorze 37 ε_a jest amplitudą odkształcenia.

16. Dość poważnym błędem jest brak tezy naukowej.

17. Zdanie "W niniejszej pracy określiłam zależności charakterystyk zmęczeniowych rozciągania-ściskania i zginania zarówno tych bardziej znanych i częściej używanych jak i nowych." na stronie 26 jest niezrozumiałe.

18. Skąd takie stwierdzenie "Efekt gradientu naprężeń bardzo rzadko jest uwzględniany wprost w modelach oceny trwałości zmęczeniowej" skoro już w procedurach FITNET, które nie były przecież oryginalnymi dokumentami a bazowały na ówczesnym doświadczeniu uwzględniano na odpowiednio wysokim poziomie analizy wpływ gradientu naprężeń.

19. W opisie wzoru 48 użyto stwierdzenia cyt. "cała modele sprężystego". Jest to nie zrozumiałe.

20. Tytuł rozdziału 6.1 dość nietrafiony szczególnie ze względu na fakt, że nie ma słowa o strukturach materiałów, a w tabelach przedstawiono własności materiałów innych niż analizowane w pracy.

21. Ostatnie zdanie na stronie 37 jest niezrozumiałe.

22. Na stronie 38 pod rysunkiem 11 napisała Pani, że tendencja o ustawieniu linii rzeczywistych odkształceń nad linią małych odkształceń jest taka sama. Czy wyobraża sobie Pani sytuację, w której linia małych odkształceń znajduje się ponad linią skończonych odkształceń?

23. W Tab. 3 na stronie 41 podaje Pani górną granicę plastyczności i umowną granicą plastyczności. Jak to możliwe, że materiał ma obie wielkości jednocześnie?

24. Dlaczego napisała Pani, o próbce typu diabolo, że nie posiada karbu geometrycznego?

25. Zdanie "Ponizej możemy na zdjęciu przedstawić jak wygląda próbka stali 16Mo3 po próbie wahadlowego zginania (rys.23)." ma dość wątpliwą sens i błędy w pisowni.

26. Kilukrotnie używa Pani słowa moment bez określania czy chodzi o moment gnący czy skręcający. Niestety samo słowo moment można też rozumieć jako "chwile" dlatego powinno się określać o jaki moment chodzi (np. strona 58 ostatnie zdanie).

27. Na stronie 63 napisała Pani "Jednakże krzywe te stykają się na poziomie niespełna 100 000 cykli." Czy potrafiłaby Pani wyjaśnić czemu się tak dzieje?

28. Na stronie 77 napisała Pani "Aczkolwiek literatura podaje dużo innych możliwości i danych dla materiału SM45C." Czy może Pani wyjaśnić sens tego zdania?

29. Proszę wyjaśnić znaczenie zdania "Krzywa wyników zginania z uwzględnieniem gradientu" na stronie 105.

Część edytorska

1. Na stronie 7 Wstępu angielskie nazwiska autorów charakterystyk zmęczeniowych odmieniono, podczas gdy nazwiska polskie pozostawiono w mianowniku i zamieniono kolejność autorów. Zwykle wymieniana przez Panią charakterystyka nazywana jest modelem Łagody-Kurka.

2. W pracy nie zadbano o "sieroty" – wiele linii kończy się pojedynczymi literami.

3. Na stronie 9 fragment "(...) elementów z blach wypalanych przy pomocy różnych technologii (...)" ma nie najlepszą składnię, gdyż sugeruje że blachy są wypalane. Zdaje się że słowo "obrabianych" byłoby dużo lepszym zamiennikiem.

4. Poczynając od strony 11 w modelu Mansona-Coffina-Basquina nazwiska autorów są regularnie przekręcane, szczególnie Coffina.

5. W pierwszym wzorze na stronie 12 brakuje kreski ułamkowej przez co wytrzymałość doraźna wygląda jak podstawa logarytmu.

6. Niektóre wzory na stronie 15 mają nietypowy wygląd.

7. Fatalny styl zdania "(...) i ten właśnie problem jest punktem wyjściowym do zasadniczego celu tej pracy czym jest gradient naprężenia czy też odkształcenia z jednoosiowym uwzględnieniem odkształceń plastycznych [60]."

8. Błędne odwołanie do wzoru 38 (jest 36).

9. Strona 32 powinno być "opisuje" jest "operuje"

10. Nie ma linii "przerywanej", ale jest kreskowa.

11. Zdanie "Maszyna MZGS-100 (rys 16a) , której system napędzany jest silnikiem elektrycznym prądu przemiennego o małym poborze mocy." jest niepoprawne.

12. Kiepska jakość zdjęć na Rys. 16.

13. Na stronie 46 błędne odwołanie do tabeli 5.

14. Na stronie 47 błędne odwołania do tabel 6 i 7.
15. Linie w kropki przywołane na stronie 50 czy linie kropkowane jak Pani pisze na stronie 91 i dalej to raczej linie punktowe.
16. W opisie na Rys. 21 i 22 powinno być "kontrolowane naprężenie".
17. Odwołania do tabel 20 i 21 na stronie 68 są nieprawidłowe.
18. Na stronie 73 bardziej odpowiednim słowem niż "rozłożenia" byłoby słowo "układu".
19. Tabela 38 wcięła się w tekst.
20. Liczne pojedyncze litery na końcach linii, sporo zgubionych kropek i częste literówki (szczególnie w zakresie polskich znaków diakrytycznych).

PODSUMOWANIE

Przedstawioną pracę o tytule "Uwzględnienie odkształcenia plastycznego przy wyznaczeniu trwałości w jednoosiowym stanie obciążenia", mimo zgłoszonych uprzednio uwag, oceniam całościowo pozytywnie. Zaprezentowana w pracy szczegółowa analiza zachowania różnych materiałów pod kątem różnych charakterystyk zmęczeniowych jest ważkim i bardzo pracochłonnym zadaniem w zakresie badań podstawowych i stosowanych. Tematyka jest bardzo aktualna, a praktyczne rezultaty podwyższają jej wartość. Jest ona kolejną krokiem do zbudowania jednolitej teorii pozwalającej oceniać zachowanie elementów konstrukcyjnych pod wpływem obciążeń zmęczeniowych.

Wyraźnie sformułowano cel i konsekwentnie rozwiązano zadania szczegółowe. Dużą wartością pracy jest prezentacja zebranych wyników badań doświadczalnych co pozwala na odtworzenie działań Doktorantki, ale też na indywidualne podejście do analizy wyników przez czytelników.

Niefortunnie, w pracy nie wyartykułowano formalnie tezy, choć łatwo się jej domyślić i na podstawie wniosków stwierdzić, iż została dowiedziona, a cele rozprawy osiągnięte.

Niestety zawodzi poziom edycji pracy, szczególnie w zakresie tekstu. Pojawiło się dość dużo błędów interpunkcyjnych, literówek i zdań trudnych do zrozumienia ze względu na nietypową składnię.

Praca ma charakter zarówno eksperymentalny jak i obejmuje zagadnienia z zakresu analizy procesu zmęczenia. Walory rozprawy w tych obszarach mają kluczowe znaczenie dla pozytywnej oceny wysiłków Doktorantki.

*Mając na uwadze wszystkie wymienione powyżej aspekty stwierdzam, że przedstawiona do oceny praca spełnia wymagania stawiane przez Ustawę o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003 r. (Dz. U. z 2017 r., poz. 1789) i **może być podstawą do nadania stopnia doktora nauk technicznych w dyscyplinie Inżynieria Mechaniczna**. Wnoszę jednocześnie o dopuszczenie recenzowanej rozprawy do publicznej obrony.*

dr hab. inż. Jarosław Gałkiewicz, prof. PŚk

