



**dr hab. inż. Tomasz Jankowiak, prof. PP**  
Politechnika Poznańska  
Wydział Inżynierii Lądowej i Transportu  
ul. Piotrowo 3, 60-965 Poznań  
tel.: 616652814  
e-mail: [tomasz.jankowiak@put.poznan.pl](mailto:tomasz.jankowiak@put.poznan.pl)

Poznań, dnia 30 grudnia 2022 roku

## Recenzja

### **Rozprawy doktorskiej mgr inż. Marzeny Muchy pt. „Influence of rate-dependence on unstable material response in large strain thermo- plasticity”**

#### **1. Podstawa formalna i przedmiot recenzji**

Niniejszą recenzję opracowałem na prośbę Pana prof. dr hab. inż. Andrzeja Szaraty, Dziekana Wydziału Inżynierii Lądowej PK. Skierowane do mnie w tej sprawie pismo sporządzono 25 października 2022 roku.

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska Pani mgr inż. Marzeny Muchy, zatytułowana „Influence of rate-dependence on unstable material response in large strain thermo-plasticity”. Praca ta liczy 136 stron wydruku komputerowego formatu A4. Została przygotowana pod kierunkiem Pana prof. dr hab. inż. Jerzego Pamina jako promotora. Badania przedstawione w pracy były finansowane między innymi przy pomocy grantów NCN z roku 2014 i 2018 oraz grantów PROM Nawa z roku 2018 i 2019.

Praca napisana jest w języku angielskim i składa się z podziękowań, streszczenia w języku polskim (2 strony) i angielskim (2 strony), opisu oznaczeń (2 strony), dziewięciu rozdziałów: 1. Wprowadzenie (10 stron), 2. Termo-plastyczność w dużych odkształceniach (6 stron), 3. Analiza niestateczności przy dużych odkształceniach (16 stron), 4. Termo-plastyczność w dużych odkształceniach dla pasm Luedersa (4 strony), 5. Analiza numeryczna pas Luedersa (26 stron), 6. Termo-plastyczność w dużych odkształceniach dla efektu PLC (4 strony), 7. Analiza numeryczna efektu PLC (16 stron), 8. Porównanie symulacji z eksperymentami dla stopu aluminium AW5083 (14 stron), 9. Uwagi końcowe (12 stron) oraz Szczegółowego streszczenia (6 stron). Praca w części powstała na podstawie 5 publikacji (cztery opublikowano w czasopiśmie indeksowanym w [Scopus](https://scopus.com) a jedną w Computer Methods in Materials Science), których doktorantka była główną autorką.

Wydział Inżynierii Lądowej

Wpłynęło dnia..... 02 STY. 2023

L. dz. .... W. SIO ZP. S. 2023

podpis..... *Ucies*

Zgodnie ze Scopus h-index Doktorantki to 1 a liczba cytowań to 5 natomiast Google Scholar określa jej h-index na 2 a liczba cytowań to 10.

Podsumowując uważam, że tak przygotowana praca może być rozważana jako rozprawa doktorska Pani mgr inż. Marzeny Muchy.

## **2. Charakterystyka oraz ocena merytoryczna pracy doktorskiej**

Jak wspomniałem praca powstała na bazie wcześniejszych publikacji Doktorantki. Stanowi jednak ich świetne podsumowanie i usystematyzowanie oraz rozwinięcie.

W pierwszym rozdziale Doktorantka przedstawiła historyczne badania dotyczące warunków powstawania pasm Luedersa oraz efektu PLC. Scharakteryzowała na czym polegają omawiane efekty i w jakich warunkach występują, tzn. dla jakich: kształtów próbek, materiałów, temperatur, odkształcenia i prędkości odkształcenia. Efekty te bardzo trudno dostrzec w teście i są niełatwe do zmierzenia. Moim zdaniem warto byłoby przedstawić precyzyjnie konkretne badania eksperymentalne w których wykazano by te efekty laboratoryjnie.

W drugim rozdziale opisano termo-plastyczność oraz sposób implementacji modeli materiałowych w metodzie elementów skończonych (program Ace/Gen). Zastanawiam się tylko czy kąt tarcia wewnętrznego (wpływ pierwszego niezmiennika tensora naprężenia – równania 2.2.4 i 2.2.6) jest ważny w badaniach metali?

W trzecim rozdziale przedstawiono szereg wyników symulacji komputerowych dla problemu lokalizacji odkształceń w termo-plastyczności. Przeanalizowano wpływ różnych parametrów materiałowych oraz wyniki w płaskim stanie naprężenia i odkształcenia. Moim zdaniem przedstawianie wielu krzywych (np.12) na jednym wykresie jest nieczytelne. Zastosowanie mnożnika przemieszczeniowego wydaje mi się niepotrzebne. Jakie odkształcenia nominalne odpowiadają 1? W symulacjach uwzględniono również kąt tarcia wewnętrznego. Oczywiście ma to wpływ na wyniki symulacji. Dlaczego przyjęto w tym rozdziale jego wartość na 15/30 deg (tabela 3.1)? Czy celowo stosuje się taką asymetrię między ściskaniem a rozciąganiem (widoczne jest to również w modelu Hoffmana)? W całej pracy nie ma żadnego przypadku analizowania ściskania, gdyż w tym teście omawiane efekty nie są widoczne. Na wykresach 3.3 itp. widoczne jest osłabienie odkształceniowe (suma reakcji spada). Dlaczego tak bardzo? Po co na tym i kolejnych wykresach dla kolejnych przypadków pokazywać wyniki dla materiału „Soft”. Wolałbym zobaczyć jak zachowuje się model dla pojedynczego elementu skończonego (rozciąganie 1D i ewentualnie ściskanie 1D). Wtedy można by przekonać się jak procedura działa np. dla izotermicznego przypadku. Jakie są parametry materiałowe dla modelu BDP?

W czwartym rozdziale przedstawiono rozszerzenie modeli z rozdziału 2 o możliwość symulacji pasm Luedersa. Modele te zostały następnie wykorzystane w rozdziale 5. Te rozdziały stanowią istotną część pracy, która jest oryginalnym wkładem autorki w badania w dziedzinie mechaniki materiałów i inżynierii lądowej. Moim zdaniem powinno się te dwie części rozprawy scalić. W rozdziale 5 pokazano różne wyniki numeryczne dla płytki

prostokątnej, wiosełkowej oraz ścinanej o złożonej geometrii. Pokazano wpływ na wyniki między innymi parametrów  $k$  i  $\xi$  oraz wykazano niezależność rozwiązania od wielkości siatki MES.

W szóstym rozdziale przedstawiono rozwinięcie modeli z rozdziału 2 o człony pozwalające na uwzględnienie efektu PLC (model Estrina-McCormicka). Model ten następnie zastosowano do przeprowadzenia szeregu symulacji komputerowych w rozdziale 7. Również ta część jest oryginalnym wkładem doktorantki w badania w dziedzinie mechaniki materiałów i inżynierii lądowej. Pokazano wyniki symulacji efektu PLC w pręcie oraz w próbce wiosełkowej. Dodatkowo porównano wyniki numeryczne z dostępnymi w literaturze rezultatami badań laboratoryjnych. W tej części wyniki pokazywano w przestrzeni naprężenie – relatywne podłużne przemieszczenie (czyli odkształcenie nominalne?). Co to za miara naprężenia? Nominalne, Cauchego czy jeszcze inne? Czy nie lepiej przedstawiać wyniki zawsze w jednej przestrzeni – sprzężonych miar odkształcenia i naprężenia? Jak np. w true stress-true strain wygląda wykorzystany w tym rozdziale model? Czy odkształcenia sprężyste są małe czy duże? Jak by to wyglądało dla cyklicznego rozciągania, jak uwzględnione jest odciążenie? Czy kinematyczne wzmocnienie występuje w tym materiale i modelu?

W rozdziale ósmym na szczególną uwagę zasługuje udana próba wykonania badań eksperymentalnych oraz porównanie ich wyników z badaniami numerycznymi przy wykorzystaniu modyfikacji modelu EMC. Pozwoliło to na odtworzenie pasm Luedersa oraz mechanizmu zniszczenia próbki wiosełkowej. Czy różnica temperatury (fig. 8.5-8.7) między krótszymi i dłuższymi testami mogła wynikać z tego, że następowała wymiana ciepła z otoczeniem i próbka się chłodziła? Jak to wyglądało w symulacjach? Czy ewentualnie to zostało uwzględnione?

W ostatnim dziewiątym rozdziale podsumowano wszystkie wyniki badań oraz omówiono możliwe kierunki dalszych badań w tym zakresie.

Bez wątplenia najważniejszymi oryginalnymi elementami recenzowanej pracy doktorskiej są:

1. Przeprowadzenie studium literaturowego na temat warunków powstawania pasm Luedersa, efektu PLC w wybranych materiałach, które są obserwowalne w określonej temperaturze oraz prędkości deformacji.
2. Opis różnych modeli uwzględniających pasma Luedersa oraz efekt PLC.
3. Zaimplementowanie wybranych modeli uwzględniających powstawanie pasm Luedersa oraz efektu PLC do programów komputerowych AceGEN i AceFEM.
4. Przeprowadzenie testów laboratoryjnych dla próbki wiosełkowej ze stopu aluminium AW5083 oraz sprawdzenie skuteczności wybranych modeli komputerowych przy przewidywaniu zachowania oraz zniszczenia materiału.


Doktorantka udowodniła, że potrafi rozwiązywać i symulować w precyzyjny sposób zaawansowane problemy naukowe. Na szczególną uwagę zasługują treści przedstawione w

rozdziale 8, w którym porównano wyniki symulacji komputerowych z badaniami eksperymentalnymi osiągając zgodność rezultatów zarówno jakościowo jak i ilościowo. Stwierdzam, że są to rzeczywiście oryginalne osiągnięcia i oceniam je bardzo dobrze.

Doktorantka przedstawiła również kierunki planowanych dalszych badań w tym temacie, co może skutkować powstaniem nowych interesujących publikacji dotyczących między innymi uwzględnienia: termo-sprężystości anizotropowej plastyczności, wpływu temperatury na parametry modelu, innych modeli efektu PLC i Gough-Joule oraz precyzyjniejszej identyfikacji parametrów materiałowych.

### **3. Wniosek końcowy**

Podsumowując niniejszą opinię stwierdzam, że rozprawa doktorska Pani mgr inż. Marzeny Muchy, zatytułowana „Influence of rate-dependence on unstable material response in large strain thermo-plasticity”, spełnia warunki merytoryczne i formalne stawiane pracom doktorskim. Pracę oceniam bardzo dobrze. Uważam, że publikacje opracowane przez Doktorantkę w dużym stopniu przyczyniły się do rozwoju mechaniki materiałów i inżynierii lądowej, szczególnie w aspekcie symulacji komputerowych rozważanych zagadnień. Recenzowana praca stanowi również duży wkład w rozwój dyscypliny naukowej „Inżynieria Lądowa”. Dlatego z wielką satysfakcją stawiam wniosek o dopuszczenie doktorantki do publicznej obrony wymienionej rozprawy oraz o jej wyróżnienie.



dr hab. inż. Tomasz Jankowiak, prof. PP