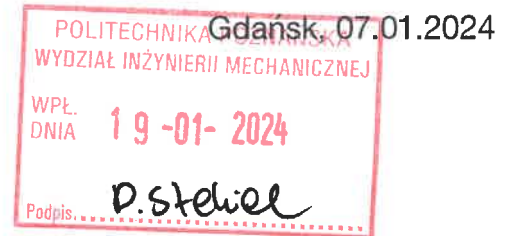


dr hab. inż. Marcin Kujawa, prof PG
e-mail: marcin.kujawa@pg.edu.pl



RECENZJA

Rozprawy doktorskiej mgr inż. Filipa Sarbinowskiego
pod tytułem:

Analiza sprawności urządzeń odzyskujących energie z galopowania poprzecznego.

1. Podstawa opracowania

Pismo dr hab. inż. Olafa Ciszaka, prof PP, Dziekana Wydziału Inżynierii Mechanicznej Politechniki Poznańskiej z dnia 27.09.2023 roku wraz z egzemplarzem pracy doktorskiej, napisanej pod kierunkiem dr hab. inż. Romana Starosty i dr inż. Pawła Fritzkowskiego.

2. Wprowadzenie i kontekst badania

W kontekście rosnących potrzeb energetycznych i kryzysu związanego z tradycyjnymi źródłami energii, poszukiwanie alternatywnych, odnawialnych źródeł energii staje się kluczowe i nieuniknione. Wykorzystanie drgań do odzyskiwania energii wpisuje się w globalne dążenie do zrównoważonego rozwoju. **Zastosowanie zjawiska galopowania poprzecznego w celu odzyskiwania energii jest stosunkowo nowym podejściem, które może otworzyć nowe możliwości w inżynierii energetycznej.** Jak wynika z rozprawy, centralnym wyzwaniem jest zrozumienie i optymalizacja sprawności energetycznej różnych wariantów urządzenia. Rozwój precyzyjnych modeli analityczno-numerycznych dla różnych wariantów urządzeń jest niezbędny do zrozumienia ich pracy i opisu sprawności tych urządzeń. Wyniki analiz bazujących na tych modelach mogą znacząco wpłynąć na projektowanie tych urządzeń i systemów energetycznych, zwiększając ich efektywność w różnorodnych warunkach użytkowania. Urządzenia te mogą znaleźć zastosowanie w różnych sektorach przemysłu, to jest tam, gdzie drgania są powszechne i mogą być źródłem odzysku energii. Rozwój tej technologii może przyczynić się do redukcji emisji gazów cieplarnianych poprzez zmniejszenie zależności od paliw kopalnych.

Analizowany problem badawczy ma znaczące implikacje zarówno w kontekście naukowym, jak i praktycznym. Rozwój technologii odzyskiwania energii z drgań, w szczególności z wykorzystaniem galopowania poprzecznego, stanowi obiecujący

kierunek w poszukiwaniu efektywnych i zrównoważonych źródeł energii. Zrozumienie i optymalizacja tych systemów może przynieść znaczące korzyści dla środowiska, gospodarki i społeczeństwa.

3. Cele i hipotezy badawcze

Oceniając przedstawione w pracy cele badawcze, można stwierdzić, że są one dobrze sformułowane i odnoszą się do istotnych aspektów w odniesieniu do problematyki odzyskiwania energii z galopowania poprzecznego.

Po pierwsze, podjęto **zadanie określenia uniwersalnego zestawu parametrów wpływających na efektywność energetyczną rozwiązania**, które ma doprowadzić do ustandaryzowania metod mierzenia i opisywania sprawności urządzeń odzyskujących energię z galopowania poprzecznego.

Po drugie, **starano się określić zjawiska wpływające na różnice w sprawności** aby zrozumieć podstawy teoretyczne i praktyczne stojące za efektywnością różnych rozwiązań. Ma to bowiem wpływ na lepsze zrozumienie ograniczeń i możliwości poszczególnych technologii.

W pracy postawiono następujące hipotezy badawcze:

Hipoteza pierwsza **dotyczy uniwersalności parametrów**: Można przypuszczać, że istnieje zestaw uniwersalnych parametrów, które efektywnie opisują sprawność urządzeń. Co jest bezpośrednio związane z pierwszym celem badawczym.

Hipoteza druga **o zjawiskach wpływających na sprawność**: Hipoteza ta zakłada, że istnieją konkretne zjawiska fizyczne lub konstrukcyjne, które decydują o efektywności różnych wariantów urządzeń. Jest to związane z drugim celem badania.

4. Metodologia

Metoda badawcza jest dobrze dopasowana do celów badawczych. Zaproponowane podejście badawcze daje możliwość szczegółowej analizy zachowania zarówno liniowych, jak i nieliniowych systemów dynamicznych, co jest kluczowe w kontekście badanych urządzeń. Metoda badawcza jest zgodna z postawionymi hipotezami, ponieważ pozwalają na badanie wpływu różnych parametrów konstrukcyjnych i operacyjnych na efektywność urządzeń, co było centralnym elementem hipotez.

Podstawową wadą podejścia jest jednak brak porównania rozwiązań autorskich z innymi czy to numerycznymi (np. MES) czy doświadczalnymi.

5. Analiza danych i wyników

Oceniając sposób analizy danych w pracy doktorskiej pana Filipa Sarbinowskiego, chciałbym zwrócić uwagę na następujące elementy. Po pierwsze Doktorant **analizował problem w ujęciu parametrycznym** odnosząc się do wielu różnych zestawów parametrów, co świadczy o szczegółowości podejścia. Nie wiem jednak czy to najlepsze podejście w tego rodzaju analizie. **Mając rozwiązania ściśle można było pokusić się o optymalizację jedno lub wielokryterialną wybranych wielkości.**

Po drugie do obliczeń numerycznych zastosowano metodę bilansu harmonicznego oraz jej **autorskie rozszerzenie w przypadku analizy nieregularnych zachowań układu**, co jest adekwatne w przypadku skomplikowanych modeli matematycznych opisujących urządzenia badane w pracy.

Należy w tym miejscu podkreślić, że wyniki analiz przedstawione są w klarowny sposób, z wykorzystaniem wykresów i tabel, co ułatwia zrozumienie wpływu poszczególnych parametrów na efektywność urządzeń. **Autor jasno komunikuje kluczowe spostrzeżenia w opisie** (choćby takie jak wpływ nieregularnych zachowań na sprawność urządzeń czy zależność szerokości pasma wysokiej sprawności od zestawu parametrów).

6. Dyskusja i wnioski

Interpretacja wyników oraz wnioski w pracy pana Filipa Sarbinowskiego są logiczne, spójne i uzasadnione, odzwierciedlając kompleksową analizę przeprowadzoną w ramach badań analitycznych. **Niestety jedynie analitycznych.**

Praca zawiera szczegółową analizę wpływu różnych parametrów na sprawność urządzeń odzyskujących energię z galopowania poprzecznego, a Autor skupia się na kluczowych parametrach, takich jak sprawność szczytowa, szerokość pasma wysokiej sprawności, prędkość krytyczna i nominalna, a także wrażliwości na tłumienie.

Interpretacja wyników uwzględnia różnorodne aspekty konstrukcji tych urządzeń, w tym układy o dwóch stopniach swobody oraz nieliniową charakterystykę sprężystości, co jest adekwatne do złożoności badanego tematu.

Wnioski wyciągnięte z badania są logiczne i spójne z przeprowadzonymi analizami. Autor wykazuje, że różne konfiguracje urządzeń mają różną sprawność szczytową oraz szerokość pasma wysokiej sprawności. W mojej opinii **Doktorant właściwie identyfikuje potencjalne wady i zalety różnych konfiguracji badanych urządzeń.**

Główne wnioski z pracy doktorskiej Filipa Sarbinowskiego można by podsumować następująco:

1. W przypadku **układów o dwóch stopniach swobody**, przeanalizowano różne konfiguracje układu identyfikując sześć podwariantów. Wykazano, że w niektórych konfiguracjach sprawność szczytowa może być wyższa niż w wariantach podstawowych. Stwierdzono również, że umiejscowienie i liczba przetworników elektromechanicznych nie wpływa na sprawność szczytową.
2. Po drugie w odniesieniu do **charakterystyki sprawności** ustalono, że **układy o dwóch stopniach swobody mogą posiadać dwie różne charakterystyki sprawności**, co może być zarówno zaletą, jak i wadą.
3. Kolejno badając **układy z nieliniową charakterystyką sprężystości**, badano sprawność układów o progresywnej, degresywnej i bistabilnej sprężystości. Wykazano, że warianty te mogą charakteryzować się wyższą sprawnością szczytową w porównaniu z wariantami podstawowymi, choć posiadają węższe pasmo wysokiej sprawności.
4. Po czwarte sformułowano szereg wniosków specyficznych w przypadku różnych typów sprężystości:
 - Układ o progresywnej sprężystości:** Wyższa sprawność szczytowa, ale węższe pasmo wysokiej sprawności.
 - Układ o degresywnej sprężystości:** Zmniejszenie sprawności szczytowej i rozszerzenie pasma wysokiej sprawności przy wzroście siły nieliniowości.
 - Układ bistabilny:** Znacząco wyższa sprawność szczytowa w pobliżu prędkości nominalnej.
5. Po piąte w **porównaniu różnych wariantów GEH** (Generatora Energii z Drgań): wskazano, że podwariant II układu o dwóch stopniach swobody, układ o progresywnej sprężystości i układ bistabilny charakteryzują się sprawnością szczytową wyższą niż wariant podstawowy. Różnice te są głównie determinowane przez prędkość nominalną i indywidualne cechy poszczególnych wariantów.
6. Po szóste wskazano na **wady układów nieliniowych** i w tym przypadku wąskie pasmo wysokiej sprawności, co oznacza, że te układy pozostają bardziej sprawne niż wariant podstawowy tylko w wąskim zakresie prędkości przepływu.
7. Ostatecznie stwierdzono, że **najbardziej korzystnym wariantem jest** Podwariant II układu o dwóch stopniach swobody, który może charakteryzować się zarówno najszerszym pasmem wysokiej sprawności, jak i najwyższą sprawnością szczytową, wyłania się jako najbardziej korzystny spośród przeanalizowanych wariantów.

7. Oryginalność i wkład naukowy

Oceniając wkład pracy w rozwój dyscypliny inżynieria mechaniczna oraz analizując oryginalność podejścia badawczego i wyników należy zauważyć, że praca faktycznie wnosi pewien wkład do dyscypliny naukowej inżynieria mechaniczna. Zastosowane



w pracy podejście badawcze może przyczynić się do lepszego zrozumienia i potencjalnego wykorzystania analizowanego zjawiska w technologiach odzyskiwania energii na szerszą skalę. Użyte metody, w tym autorskie rozszerzenie Metody Bilansu Harmonicznych, pozwalają na bardziej precyzyjną analizę skomplikowanych układów nieliniowych. Wyniki dotyczące wpływu różnych parametrów na sprawność badanych urządzeń oraz ich porównanie dają pewne konkretne wnioski w temacie i mogą faktycznie prowadzić do rozwoju bardziej efektywnych rozwiązań tego typu w przyszłości.

8. Struktura, styl i język

Rozprawa Filipa Sarbinowskiego jest starannie opracowana. Praca charakteryzuje się logiczną jasną strukturą (5 rozdziałów, w sumie 113 stron), począwszy od wstępu i wprowadzenia w problematykę kryzysu energetycznego, aż po szczegółową analizę matematyczną urządzeń i podsumowanie oraz wnioski końcowe wraz z próbą opisu perspektywy dalszych badań. Styl pisania jest formalny i akademicki, co jest odpowiednie w przypadku pracy doktorskiej. Praca zawiera niestety drobne błędy pisarskie.

9. Bibliografia i źródła

Bibliografia obejmuje szeroki zakres literatury naukowej (w sumie 73 pozycje), włączając zarówno fundamentalne teksty z dziedziny energii odnawialnej i inżynierii mechanicznej (klasyczne teksty), jak i bardziej specjalistyczne prace skupiające się na odzyskiwaniu energii z drgań (najnowsze badania). Wykorzystano różnorodne typy źródeł, w tym artykuły z recenzowanych czasopism naukowych, rozprawy doktorskie, a także publikacje konferencyjne. Źródła te są ściśle powiązane z tematem pracy, obejmując takie obszary jak odzyskiwanie energii z drgań, piezoelektryczne systemy zbierania energii, oraz bardziej szczegółowe aspekty dotyczące galopowania poprzecznego i nieliniowości w systemach energetycznych. Każde źródło jest starannie sformatowane z wyraźnym rozróżnieniem tytułów, autorów i danych wydawniczych.

10. Słabości, ograniczenia i potencjalne obszary dalszych badań

Słabości i ograniczenia

Główną słabością pracy Doktoranta jest brak porównania wyników z innymi rozwiązaniami/wynikami (choćby dostępnymi w literaturze), zarówno numerycznymi (np. przy użyciu Metody Elementów Skończonych) jak i doświadczalnymi choćby w małej skali.

Porównanie uzyskanych wyników z tymi otrzymanymi za pomocą innych metod numerycznych, takich jak MES, mogłoby zapewnić dodatkową walidację i wiarygodność badania. Metoda Elementów Skończonych jest szeroko stosowana w analizie dynamiki struktur i mogłaby posłużyć jako benchmark dla wyników uzyskanych w pracy.

Podobnie brak porównania wyników teoretycznych z danymi doświadczalnymi stanowi istotną lukę. Eksperymentalne weryfikacje wyników są kluczowe w inżynierii, ponieważ pozwalają na walidację modeli teoretycznych oraz określenie ich związku z rzeczywistością.

Brak takich porównań ogranicza wiarygodność wniosków i ich zastosowanie w rzeczywistych scenariuszach inżynierskich. Porównanie z innymi metodami pozwoliłoby na lepsze zrozumienie mocnych i słabych stron badanego podejścia oraz na identyfikację obszarów do dalszej optymalizacji i rozwoju.

Potencjalne kierunki dalszych badań:

Ta część niestety została opisana dość pobieżnie.

Istotnym kierunkiem dalszych badań jest **optymalizacja parametrów urządzeń**, aby zwiększyć zakres ich efektywnej pracy przy różnych prędkościach przepływu. Może to obejmować badanie układów z różnymi charakterystykami sprężystości i różnymi konfiguracjami konstrukcyjnymi.

Badania w kierunku **wykorzystania alternatywnych materiałów lub nowych technologii**, które mogą zwiększyć efektywność i zmniejszyć wrażliwość urządzeń na zmiany warunków pracy.

Kolejnym ważnym kierunkiem jest **szczegółowe badanie wpływu różnych parametrów konstrukcyjnych na szerokość pasma wysokiej sprawności**, co może prowadzić do odkrycia nowych sposobów zwiększenia efektywności urządzeń.

Wykorzystanie zaawansowanych technik modelowania komputerowego i symulacji może pomóc w lepszym zrozumieniu zachowania urządzeń w różnych warunkach pracy.

Praktyczne testy prototypów w rzeczywistych warunkach mogą dostarczyć cennych informacji o wydajności i ograniczeniach urządzeń, co może przyczynić się do ich dalszego rozwoju i ulepszenia.

Podsumowanie i wniosek końcowy

W recenzowanej rozprawie doktorskiej Autor podjął się rozwiązania aktualnego zagadnienia naukowego dotyczącego problematyki odzyskiwania energii ze źródeł odnawialnych, a w odniesieniu do analizy sprawności urządzeń odzyskujących energię ze zjawiska galopowania poprzecznego.

Przedstawiona rozprawa Doktorska stanowi moim zdaniem rozwiązanie ważnego problemu naukowego, w opracowaniu którego Doktorant wykazał się bardzo dobrą ogólną wiedzą teoretyczną w dyscyplinie naukowej inżynieria mechaniczna.

Uważam, że rozprawa doktorska mgr inż. Filipa Sarbinowskiego, pt.: Analiza sprawności urządzeń odzyskujących energię z galopowania poprzecznego., odpowiada warunkom stawianym przez Ustawę z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce, (Dział V - Stopnie i tytuł w systemie szkolnictwa wyższego i nauki, Art. 187) rozprawom doktorskim w zakresie nauk technicznych i na tej podstawie **stawiam wniosek o przyjęcie i dopuszczenie** pracy mgr inż. Filipa Sarbinowskiego do publicznej obrony.

Pytania do doktoranta

1. Jaka była główna motywacja do wyboru tematu rozprawy, skąd pomysł na ten kierunek badań szczegółowych związanych z odzyskiwanie energii z galopowania poprzecznego?
2. Jakie główne cele badawcze postawił Pan sobie przy rozpoczynaniu pracy i czy uważa Pan, że zostały one osiągnięte?
3. Dlaczego zdecydował się Pan na wykorzystanie jedynie podejścia analitycznego, a w tym Metody Bilansu Harmonicznych w swoich badaniach?
4. Jakie praktyczne zastosowania widzi Pan w przypadku swoich wyników badań w kontekście kryzysu energetycznego?
5. Jakie największe wyzwania napotkał Pan podczas swoich badań i jak Pan sobie z nimi poradził?
6. Jakie są główne trudności w analizie zachowania układów bistabilnych i ich wpływ na efektywność energetyczną?
7. Jakie kluczowe założenia przyjął Pan przy modelowaniu układów bistabilnych i dlaczego?
8. Jaki wariant urządzenia okazał się najbardziej efektywny i dlaczego?
9. W jaki sposób różne warunki operacyjne, takie jak zmiany prędkości przepływu powietrza, wpływają na efektywność energetyczną urządzeń analizowanych w Pana pracy? Czy wyniki wskazują na jakies specyficzne warunki, które są szczególnie korzystne lub niekorzystne dla tych technologii?
10. Co uważa Pan za największe ograniczenia swoich badań i jak mogą one wpłynąć na wyniki?