

## RECENZJA

Rozprawy doktorskiej mgr. inż. Bartosza Kraszewskiego pod tytułem  
„Capturing rapid nonlinear phenomena using coupled thermal fluid-solid interaction  
numerical analysis”

### 1. Podstawa prawna oceny

- a) ustawa z dnia 20 lipca 2018 r. - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2023 r. poz. 742 ze zm.), zwana dalej Ustawą
- b) pismo RN 421-3/23 Zastępcy Dyrektora ds. Naukowych dr. hab. inż. Grzegorza Żywicy, profesora IMP PAN
- c) egzemplarz rozprawy doktorskiej mgr. inż. Bartosza Kraszewskiego.

### 2. Omówienie pracy

Opiniowana praca doktorska liczy 68 numerowanych stron. Dysertacja składa się z sześciu rozdziałów, jednego dodatku ze skryptem zapisanym dla środowiska APDL, zestawienia tablic, zestawienia rysunków i zestawienia bibliografii (50 pozycji). Treść rozprawy poprzedza wykaz skrótów i oznaczeń. Praca jest napisana w języku angielskim. Dysertacja dotyczy problemu naukowego, jakim jest zjawisko wyboczenia (przeskoku) dna zbiornika cienkościennego, wywołanego obciążeniem wodą o zadanej temperaturze. Praca zawiera opis badań eksperymentalnych w tym zakresie, jak i opis symulacji numerycznych w środowisku Ansys.

### 3. Obowiązujące przepisy prawa na dzień wszczęcia ocenianego postępowania doktorskiego, w tym obowiązujące kryteria oceny

Podstawę prawną oceny stanowią:

- art. 187 ust. 1 i ust. 2 Ustawy

### 4. Omówienie treści rozdziałów i uwagi

**Abstrakt**, 1 strona, zawiera cele pracy doktorskiej. Doktorant wskazuje dwa zasadnicze problemy, jakie będą poruszone w rozprawie. Pierwszym z nich, jest próba odpowiedzi na pytanie, czy aktualnie dostępne modele obliczeniowe służące do rozwiązywania zagadnień interakcji między płynem a ośrodkiem ciągłym są w stanie poprawnie opisać zjawiska o gwałtownym, termicznym i nieliniowym charakterze. W szczególności Autor wymienia Computational Solid Dynamics, Computational Fluid Dynamics i Thermal Fluid-Solid Interaction. Przy czym o ostatnim podejściu Autor pisze „seems remarkably undeveloped”. Drugi problem rozważany w dysertacji to przedstawienie wad i zalet podejścia Thermal Fluid-Solid Interaction na tle metod Thermal Structural i Conjugated Heat Transfer. Doktorant

opisuje też zakres dysertacji, a w skrócony sposób opis stanowiska badawczego i plan badań numerycznych.

**Rozdział 1**, ok 4,5 stron, zawiera opis motywacji, celu i zakresu dysertacji. Zdaniem Doktoranta, w związku z Protokołem z Kioto z 1997 r i Dyrektywą Unii Europejskiej z 2009r, energetyka ciepła stała się dziedziną, w której dostrzeżono problem ograniczenia emisji gazów cieplarnianych i zwiększenia udziału odnawialnych źródeł energii. W związku z tym, jak pisze Autor, zwiększyła się liczba cykli uruchamiania/wyłączania turbin parowych, co jest istotne ze względu na towarzyszące obciążenia termiczne i wynikające z nich naprężenia i deformacje. Podobne problemy dotyczą innych gałęzi przemysłu – tu Autor wymienia awiację i komercyjne loty kosmiczne. Autor dalej wskazuje, że dokładne modelowanie oddziaływań temperaturą na elementy konstrukcyjne możliwe jest za pomocą podejścia Fluid-Structure Interaction, a w szczególności z ujęciem efektów termicznych (thermal) z pełnym sprzężeniem. Nawiązując do myśli wyrażonej we wstępie o niedostatecznie rozwiniętym w literaturze opisie podejścia Thermal Fluid-Solid Interaction proponuje uzupełnienie wiedzy w tym zakresie, projektując własne stanowisko eksperymentalne. Jest to otwarty cienkościenny zbiornik poddany działaniu napływu gorącej wody. W ocenie metod Thermal Fluid-Solid Interaction, Thermal Structural i Conjugated Heat Transfer Doktorant poszukuje, która z nich najlepiej uchwyci nieliniowość geometryczną w postaci wybożenia dna zbiornika.

#### Uwagi

1. Szkoda, że Doktorant nie zaprezentował w tym rozdziale więcej informacji na temat zbiornika będącego przedmiotem badań eksperymentalnych.
2. Przytaczana na stronie 10 praca Liu nie jest ujęta w wykazie bibliografii. Nie jest więc jasne dlaczego „state-of-the-art.” jest datowane na 2018 rok. Sądzę, że wiele zmieniło się w tym zakresie od roku 2018 w czasie, gdy Doktorant składał pracę, bazując np. na zmianach jakie zaszły np. w przyroście mocy obliczeniowej komputerów.
3. Dlaczego Autor wybrał tylko nieliniowość geometryczną do obserwacji, pomijając odkształcenia trwałe? Jakie dodatkowe trudności wprowadziłyby monitorowanie odkształceń płaszcza zbiornika?

**Rozdział 2**, ok 4,5 strony, zawiera przegląd literatury dotyczącej stosowania podejścia Fluid-Solid Interaction jak i Thermal Fluid-Solid Interaction. Autor przedstawia tu pewne sposoby walidacji eksperymentalnej wyników otrzymywanych za pomocą ostatniego podejścia.

#### Uwagi

1. Autor pisze na stronie 17 (8g<sup>1</sup>) o dobrej zbieżności (good convergence). Czy chodzi o zgodność rozwiązań numerycznych i eksperymentalnych?

**Rozdział 3**, ok 10 stron, zawiera opis teoretyczny podejścia Fluid-Solid Interaction. Na podstawie literatury Doktorant w skrócony sposób omawia podstawowe równania teoretyczne.

#### Uwagi

1. Z czego wynika oddzielne rozpisanie zestawu równań (3.4)-(3.6) i zestawu (3.9)-(3.11)? Czy nie można ich ująć w trzech równaniach niezależnie od ośrodka?

---

<sup>1</sup> Tu i w dalszym ciągu określenie to oznacza numer wiersza liczony od góry(g) lub od dołu (d)

2. Czy równania (3.9)-(3.11) zmieniają się, jeśli wybierzemy inną metodę dyskretyzacji ciała stałego np. FEM?
3. Strona 23 (8d): czy wspomniany container jest tożsamy ze zbiornikiem używanym w eksperymencie?
4. W tekście pod równaniem (3.37) Autor wyjaśnia stosowane oznaczenia. Szkoda, że nie podano przyjmowanych wartości liczbowych.
5. Dlaczego w rozdziale 3.3 Autor pisze o zastosowaniu metody elementów skończonych, skoro wcześniej napisał, że zakłada metodę objętości skończonych, zob. uwaga nr 2 powyżej.
6. Jak wygląda macierz **B** w równaniu (3.40) w rozważanym przez Autora pracy podejściu nieliniowym?
7. Czy Autor w symulacjach uwzględnia naprężenia wywołane temperaturą? Równanie (3.41) pozwala obliczyć tylko część mechaniczną tensora naprężeń.
8. Czy pochodna po czasie w równaniu (3.42) jest tożsama z opisaną pod równaniem (3.7)?
9. Czy **u** w równaniu (3.42) oznacza przyrost wektora przemieszczenia?
10. Szkoda, że Doktorant nie opisał elementu skończonego 226 np. zastosowanych reguł całkowania numerycznego czy węzłowych stopni swobody.

**Rozdział 4**, ok 9 stron, Autor przedstawia opis: metodologii, stanowiska badawczego, aparatury użytej do wykonania pomiarów. Jest to istotny rozdział dysertacji, w którym Autor dowodzi umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Doktorant przeprowadził analizę możliwego błędu pomiarowego wynikającego z charakterystyk sprzętu użytego do pomiarów. Rozdział zawiera zdjęcia stanowiska oraz wybrane zdjęcia ilustrujące przebieg eksperymentu. Najważniejszą częścią rozdziału jest przedstawienie otrzymanych wyników eksperymentalnych wraz z krytyczną analizą. Budowa stanowiska, jego oprzyrządowanie i przeprowadzenie eksperymentów stanowią zdaniem recenzenta oryginalne rozwiązanie problemu naukowego.

#### Uwagi

1. Co było przyczyną użycia tylko 3 czujników temperatury? Pytanie jest istotne z punktu widzenia przedstawionych później wyników symulacji numerycznych, w których wykorzystano symetrię układu.
2. Czy obserwowano w eksperymencie deformację dna zbiornika wywołaną jedynie ciężarem wody? Autor pisze na stronie 33 (5d), że ugięcie w punkcie P1 wywołane jest rozszerzalnością termiczną? Jak (i czy w ogóle) można wydzielić z pomierzonego przemieszczenia składową związaną z ciężarem wody?
3. Czy pojęcie spread użyte w podpisie rys. 4.11 można utożsamiać z obwiednią pomierzonych wartości przemieszczeń?

**Rozdział 5**, ok 18 stron, Autor przedstawia opis modelu numerycznego, sposób jego weryfikacji oraz porównanie otrzymanych wyników numerycznych z eksperymentalnymi. Jest to najważniejszy rozdział dysertacji. Podobnie jak w rozdziale 4 Autor także i tu dowodzi umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. W rozdziale Doktorant opisał szczegółowo budowę siatek dyskretyzacyjnych fazy ciekłej, gazowej i stałej. Rozdział zawiera także zestaw wartości liczbowych stałych materiałowych.

#### Uwagi

1. Czy pole temperatury w modelu numerycznym przyjęto jako symetryczne?

2. Wielu opisywanych problemów z dyskretyzacją można było uniknąć, gdyby zbiornik miał kształt walca. Autor pisze w punkcie 4.1 „the stand was designed to make numerical reproduction of the object under study relative simple”. Po lekturze rozdziału 5 zdaniem Recenzenta przywołany tu opis z punktu 4.1 nie ma tu zastosowania. Kształt walcowy zbiornika umożliwiłby łatwiejsze generowanie siatki w całej domenie obliczeniowej, co częściowo pokazuje Doktorant na rysunku 5.6b. Czym kierował się Autor wybierając taki kształt zbiornika?
3. W tekście poprzedzającym punkt 5.1.2 Doktorant pisze o jakości elementów skończonych. Jakimi kryteriami mierzono jakość elementu?
4. Dlaczego rysunki 4.5 i 5.9 nie przedstawiają tych samych chwil czasowych?
5. Gdzie znajduje się krzywa CHT na rysunku 5.13. I uwaga ogólna – prezentacja rozwiązań podobnych do tych z rys. 5.13 w skali szarości utrudnia lekturę pracy. Dlaczego np. rysunek 5.4 jest kolorowy, a wiele innych nie?
6. Jak Autor wyjaśnia różnice wyników z rysunku 5.15?

**Rozdział 6**, 4 strony, w rozdziale tym Doktorant podsumował otrzymane wyniki. Autor sformułował cenne wnioski dotyczące porównania zastosowanych podejść numerycznych oraz dalsze kierunki badań.

#### **Uwagi**

1. Autor pisze na stronie 57 (5d) o potrzebie zmiany elementów skończonych w ośrodku stałym. Z czego wynikała ta potrzeba?
2. Dlaczego nie zastosowano elementów powłokowych do modelowania zbiornika?
3. Czy rozszerzenie podejścia Coupled Thermal-FSI (strona 59, 6d) jest możliwe z poziomu użytkownika programu?

Recenzent pragnie zauważyć, że zamieszczone powyżej uwagi dyskusyjne wynikające z lektury pracy w żaden sposób nie umniejszają wartości osiągniętych w dysertacji rezultatów. Zdecydowanie Doktorant prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną w macierzystej dyscyplinie. Recenzenta uważa, że osiągnięte w rozprawie wyniki są podstawą do napisania artykułów naukowych prezentujących jej wyniki, a wniesione uwagi mogą pomóc w redakcji treści publikacji.

Stwierdzam, że przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska:

- a) stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego,
- b) prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w dyscyplinie inżynieria mechaniczna,
- c) potwierdza umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej przez kandydata.

Wnioskuje do Rady Naukowej Instytutu Maszyn Przepływowych o dopuszczenie Doktoranta do kolejnych etapów postępowania w sprawie nadania stopnia doktora, zgodnie z Ustawą.