

**dr hab. inż. Mariusz Ptak, prof. uczelni**  
Politechnika Wrocławska, Wydział Mechaniczny  
Katedra Konstrukcji Badań Maszyn i Pojazdów  
ul. Łukasiewicza 7, 50-371 Wrocław  
e-mail: mariusz.ptak@pwr.edu.pl

Wrocław, 31.03.2021

## **RECENZJA**

rozprawy doktorskiej Pani **mgr inż. MARKA KRZYWOBŁOCKIEGO** p.t.:

**Optymalne projektowanie struktur energochłonnych pojazdów z  
wykorzystaniem metody makro elementów,**

której promotorem jest prof. dr inż. Mariusz Pyrz

### **1. PRZEDMIOT I ZAKRES ROZPRAWY**

Przedłożona do recenzji rozprawa doktorska pt. „*Optymalne projektowanie struktur energochłonnych pojazdów z wykorzystaniem metody makro elementów*” przedstawia autorskie podejście polegające na zastosowaniu metody makro elementów do obliczeń energochłonności wybranych elementów konstrukcyjnych pojazdów samochodowych i sprzężeniu jej z trzema algorytmami optymalizacyjnymi. Głównym celem badawczym było dobranie wymiarów konstrukcji cienkościennych, aby zmaksymalizować energię właściwą elementów konstrukcyjnych i spełnić kryteria maksymalnej siły deformacji, średniej siły deformacji oraz zdefiniowane ograniczenia geometryczne.

Zmniejszenie poziomu obrażeń pasażerów pojazdów samochodowych podczas wypadku, redukcja masy pojazdów i optymalizacja kosztów jest zadaniem złożonym i czasochłonnym. Mając na uwadze stopień skomplikowania procesu projektowo-konstrukcyjnego strefy energochłonnej, w tym celu powszechnie używa się metod numerycznych. Dlatego tematykę pracy uważam za celową i aktualną z naukowego punktu widzenia, a przede wszystkim wychodzącą naprzeciw oczekiwaniom przemysłu motoryzacyjnego.



## 2. UWAGI OGÓLNE I SZCZEGÓLNE

Struktura pracy jest ogólnie właściwa. Dysertacja napisana jest poprawnym, zrozumiałym językiem i wykazuje dobry poziom edytorski. Uchybienia językowe wskazano w dalszej części recenzji. Podkreśla się bardzo dobry i skrupulatnie przeprowadzony przegląd literatury. Na jego podstawie Doktorant celnie zidentyfikował tzw. lukę badawczą stanowiącą o tym, iż zastosowanie metody makro elementów i Visual Crash Studio w połączeniu z algorytmami optymalizacyjnymi było dotąd w literaturze nieadekwatnie opisane.

Zastanawiający jest dla mnie tytuł dysertacji (Optymalne projektowanie struktur energochłonnych...), który wskazywałby na najlepszy (w określonych warunkach) proces projektowo-konstrukcyjny struktur energochłonnych. Czy używanie metody makro elementów, przy szeregu istotnych uproszczeń dodatkowo wprowadzonych przez Doktoranta – opisanych przeze mnie w dalszej części recenzji – pozwala uzyskać autorowi faktycznie optymalne rozwiązanie? Pytanie pozostawiam otwarte.

W pracy brakuje jednak podkreślenia i wyszczególnienia osiągnięć naukowych, na tle znacznych osiągnięć inżynierskich opisanych w dysertacji. Co tak naprawdę, według Autora, jest nauką wartością dodaną?

Krytyczną częścią dysertacji jest podejście jej Autora do procesu walidacji/weryfikacji uzyskanych podczas symulacji numerycznych wyników. Doktorant sam nawet stwierdza (str. 98), iż „poprawność rezultatów wykonania procedury optymalizacyjnej powinna być potwierdzona za pomocą testów eksperymentalnych”. Niestety w pracy zdecydowanie brakuje weryfikacji przedstawionych wyników i to nie tylko w sposób eksperymentalny. Autor, w rozdziale 6.3.2 zatytułowanym „Walidacja modelu obliczeniowego podłużnicy VCS” przedstawia rysunek 43 bazujący, notabene błędnie, na publikacji H.-S. Kim i T. Wierzbicki (2001) (Effect of the cross-sectional shape of hat-type cross-sections on crash resistance of an “S”-frame). W nadmienionej publikacji brak jest takich badań porównawczych. Możliwe, że Doktorant chciał się odnieść do innych, późniejszych publikacji H.-S. Kim i T. Wierzbicki, niemniej jednak jest to istotna pomyłka. Co więcej w przedstawionej „walidacji” pojawia się nagle model podłużnicy z „aluminium”, co może wprowadzać czytelnika w błąd, gdyż wcześniej rozważany był model z danymi materiałowymi dla stali (tab. 13). Bardzo ograniczone lub w ogóle nieopisane są badania porównawcze dla innych rozpatrywanych przykładów numerycznych (cienkościenne kolumna stalowa i pryzmatyczna kolumna cienkościenne aluminiowa).

Doktorant, wg mnie, również nieadekwatnie opisał bardzo ważne uproszczenie jakim jest przyjęta prędkość deformacji analizowanych elementów konstrukcyjnych. Zarówno dla kolumn cienkościennych (crash-box) jak i podłużnicy przyjęto quasi-statyczne obciążenie. Należy zaznaczyć, że wpływ prędkości odkształcania ma



kluczowe znaczenie w zachowaniu się elementów energochłonnych, które są projektowane właśnie w kontekście tego parametru. Ma to istotne znaczenie nie tylko do modelowania odkształceń stali (podatnej na prędkość odkształcania), ale również stopów aluminium – głównie ze względu na maksymalną wartość siły deformacji, która jest jednym z kryteriów projektowania konstrukcji energochłonnej. W mojej ocenie brakuje całościowego podkreślenia wielu uproszczeń, które zostały przyjęte na poszczególnych etapach badań w celu osiągnięcia założonego celu rozprawy.

Podkreśla się jednak duży nakład pracy, który wymagał od Doktoranta nabycie umiejętności nie tylko z obszaru mechaniki ale również programowania, zaawansowanej analizy danych i statystyki. Chciałbym nakłonić Autora dysertacji do opublikowania opracowanego interfejsu, i wdrożenia oprogramowania – nawet jako programu komercyjnego.

Niewątpliwie przedstawiona do recenzji praca charakteryzuje się wieloma aspektami utylitarnymi oraz naukowymi, które mogą pomóc w optymalizacji struktur energochłonnych w pojazdach samochodowych (i nie tylko) a przy tym pozytywnie wpłynąć na bezpieczeństwo bierne ich użytkowników.

### ***Uwagi szczegółowe:***

1. Autor, na stronie 16, pisze „Definicja problemu optymalizacji struktur energochłonnych modelowanych za pomocą metody makroelementów wymaga uwzględnienia rzeczywistych warunków obciążenia i założenia pewnych uproszczeń projektowych”. Czy warunki obciążenia były faktycznie rzeczywiste? – jak rozwiązane jest zagadnienie kontaktu elementu obciążającego z analizowaną strukturą energochłonną i czy wymuszenie kinematyczne nie wprowadza potencjalnie dużego błędu (brak możliwości wyboczenia globalnego)?
2. Doktorant mylnie używa (a często też używa zamiennie) słów metoda, metodyka i metodologia. Czasem prowadzi to nawet do błędów logicznych gdyż napisane jest: metodologia MES (str. 12) – przy czym metodologia to nauka obejmująca metody badań naukowych.
3. Niektóre wartości parametrów optymalizacji (np. tab. 2) zostały arbitralnie przyjęte – proszę wskazać dlaczego przyjęto akurat takie wartości.
4. Jak wg Doktoranta definiowane jest pojęcie bezpieczeństwa czynnego i czy poprawa widoczności wokół pojazdu przyczynia się do jej poprawy (str. 17).
5. Rysunek 1.: powinno być „odkształcenie plastyczne” zamiast deformacja plastyczna.
6. Rysunek 5.: brak jest jego omówienia.
7. Rys. 22 i 23 – zamieniona jest ich kolejność. Ponadto Rys. 23 pojawia się dwukrotnie (str. 85 i 88). Na stronie 88 Rys. 23 jest nieczytelny i brakuje mu odniesienia do przekroju kwadratowego.



8. Doktorant często podkreśla przewagę metody makro elementów nad metodą elementów skończonych w kontekście jej „czasochłonności”. Czy Autor pracy analizował jednak modele MES oparte na modelowaniu belkowym (ang. beam), które w praktyce inżynierskiej, we wstępnej fazie prototypowania, używa się bardzo często – właśnie ze względu na szerokie spektrum możliwości optymalizacyjnych oraz wydajność obliczeniową?
9. W literaturze tematu używa się zwrotu niechroniony użytkownik ruchu drogowego, a nie pieszy użytkownik dróg.
10. Sugeruję, aby w przyszłości nie nadużywać słowa „konstrukcja”. Według niektórych naukowców „konstrukcji” nie powinniśmy traktować jako wytworu, czy środka technicznego, ale jako abstrakt. Jest to tylko pomocna uwaga dla Doktoranta.
11. Podrozdział 3.2 jest błędnie zatytułowany.
12. Niektóre podrozdziały są zdecydowanie za długie lub wręcz zbędne – przykładowo Autor pracy opisuje dokładnie w podrozdziale 3.2.2 metodę elementów skończonych, która nie jest przez niego w pracy użyta.
13. W niektórych wzorach (np. 22) przyjęta notacja angielska nie jest spójna (kropki i przecinki jako separatory dziesiętne).
14. W równaniu (92) brakuje nawiasu w liczniku.
15. W pracy, mimo ogólnie dobrego poziomu językowego, pojawia się wiele:
  - a) kolokwializmów:
    - *zmaksymalizować energię właściwą konstrukcji*,
    - *obniżenie wagi konstrukcji*, zamiast masy
    - używanie pierwiastka chemicznego (*aluminium*) na określenie materiału konstrukcyjnego (stop aluminium)
  - b) błędów gramatycznych, ortograficznych, edytorskich:
    - nierozróżnianie w pracy następujących znaków: pauza (myślnik) to znak interpunkcyjny, zaś dywiz (łącznik, ćwierćpauza) jest znakiem ortograficznym.
    - HIC: Head Injury Criterion, jest błędnie Head *Impact* Criterion
    - koniec lat dziewięćdziesiątych – winno się dodać: XX wieku
    - *winny* powinno być „w inny” (str. 43)
    - *można zauważyć* błędną kolejność przymiotników złożonych z członów równorzędnych: prace rozwojowo-badawcze zamiast prace badawczo-rozwojowe.

### 3. PODSUMOWANIE I WNIOSEK KOŃCOWY

Wymienione powyżej krytyczne uwagi i sugestie w większości nie umniejszają wartości merytorycznej pracy, którą uważam za ciekawą i perspektywiczną z punktu poznawczego i przydatną do celów praktycznych. Cechą różniącą niniejszą rozprawę od innych prac badawczych jest wykorzystanie metody makro elementów do obliczeń wytrzymałościowych oraz zastosowanie odmiennych procedur optymalizacyjnych. Oceniając całość zaprezentowanej rozprawy doktorskiej, należy podkreślić istotną wagę poznawczą, badawczą i techniczną analizowanych w pracy zagadnień. Autor w pracy udowodnił, że potrafi samodzielnie planować, przeprowadzać i opisywać badania naukowe. Przedstawiony materiał badawczo-analityczny zawarty w pracy jest oryginalnym dorobkiem mgr inż. Marka Krzywobłockiego, który wpisuje się w zakres dyscypliny budowa i eksploatacja maszyn (obecnie inżynieria mechaniczna). Wymienione w niniejszej recenzji uwagi nie zmieniają natomiast mojej ogólnie pozytywnej opinii o rozprawie. Powinny one skłonić Autora pracy do dalszego doskonalenia kunsztu naukowca i zagłębiania się w problemy badawcze.

Podsumowując stwierdzam, że praca doktorska pt. *„Optymalne projektowanie struktur energochłonnych pojazdów z wykorzystaniem metody makro elementów”* spełnia wymagania ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003 r. (Dz. U. Nr 65, poz. 595 z późniejszymi zmianami) i wnoszę o dopuszczenie jej Autora do publicznej obrony.

dr hab. inż. Mariusz Ptak, prof. uczelni

