

Recenzja osiągnięć naukowo badawczych oraz dorobku dydaktycznego i organizacyjnego dr inż. Agnieszki Bołtuć

Niniejsza recenzja została opracowana na zlecenie Dziekana Wydziału Mechanicznego Politechniki Białostockiej w związku z postępowaniem habilitacyjnym dr inż. Agnieszki Bołtuć, prowadzonym przez Centralną Komisję do Stopni i Tytułów Naukowych.

1. Dane biograficzne.

Dr inż. Agnieszka Bołtuć ukończyła Wydział informatyki Politechniki Białostockiej uzyskując stopień magistra inżyniera w 2002 roku. Od 2002 r. pracuje w Instytucie Informatyki na Wydziale Matematyczno-Fizycznym, a następnie na Wydziale Matematyki i Informatyki Uniwersytetu w Białymstoku. W roku 2008 uzyskała stopień doktora nauk technicznych na Wydziale Mechanicznym Politechniki Białostockiej przedstawiając rozprawę pt. "Zastosowanie metody parametrycznych układów równań całkowych z uwzględnieniem bez elementowego modelowania kształtu brzegu do rozwiązywania płaskich zagadnień teorii sprężystości", wykonaną pod kierownictwem dr hab. Eugeniusza Zieniuka, obronioną z wyróżnieniem.

1. Ocena dorobku naukowego.

Dokumentację osiągnięć naukowych kandydatki stanowi zbiór 9 publikacji, w tym 4 samodzielne i 5 współautorskich, w tym 7 artykułów w czasopismach znajdujących się w basie JCR. Tematyka prac dotyczy analizy sprężysto-plastycznej w płaskim stanie odkształcenia lub naprężenia przy zastosowaniu parametrycznego układu równań całkowych (PURC). Jest to oryginalna metoda opracowana przez prof. E. Zieniuka i przedstawiona w książce wydanej przez PWN (2013). Stanowi ona rozszerzenie znanej metody elementów brzegowych przez wprowadzenie parametrycznego opisu brzegu i obszaru wewnętrznego. Metoda elementów brzegowych (MEB) jest wygodnym i dokładnym narzędziem numerycznym do rozwiązywania problemów brzegowych liniowej sprężystości, gdyż sprowadza problem do rozwiązania równań całkowych określonych na brzegu rozpatrywanego obszaru. Jednak dla problemów, gdzie występują siły masowe lub problemów nieliniowych w zakresie sprężysto-plastycznym, rozwiązanie problemu wymaga sformułowania osobliwych równań całkowych zarówno na brzegu jak i w obszarze wewnętrznym, gdzie występują odkształcenia plastyczne. Wymaga to dyskretyzacji brzegu i obszaru wewnętrznego o zmiennej granicy, co stanowi istotne utrudnienie analizy numerycznej.

Istotą metody PURC jest globalny opis brzegu za pomocą krzywych parametrycznych i obszaru rozwiązania przez płaty powierzchniowe Beziera, których wymiar i kształt określony jest przez punkty kontrolne. Tego rodzaju dyskretyzacja jest niezależna od metody rozwiązania równań całkowych wymagającej całkowania po brzegu i obszarze metodą kwadratur Gaussa-Legendre'a. Tego rodzaju podejście jest podobne do popularnego opisu izogeometrycznego stosowanego w metodzie elementów skończonych.

Przedmiotem badań dr Bołtuć jest opracowanie poszczególnych elementów metody PURC, istotnych dla nieliniowej analizy sprężysto-plastycznej. Główne elementy to

1. Globalny parametryczny opis brzegu i wewnętrznego obszaru rozwiązania, oraz przybliżonych postaci funkcji brzegowych i wewnętrznych dla pola przemieszczeń.
2. Interpolacyjny opis pola odkształceń plastycznych.
3. Wyznaczenie pola naprężeń w obszarze sprężystym i plastycznym.

Element pierwszy został szczegółowo omówiony w pracach [2, 10]. Do opisu pól obszaru użyto wielomianów Beziera stopnia (n, m) , zaś do opisu brzegu podzielonego na segmenty użyto również kubycznego elementu Beziera i reprezentacji B-spline. Przybliżone formy wartości pola przemieszczeń na brzegu obszaru przedstawiono przez funkcje bazowe w postaci wielomianów Lagrange'a i Czebyszewa. Wartości funkcji przemieszczeń w obszarze przedstawiono przez wielomiany interpolacyjne Lagrange'a.

W podobny sposób opracowano element drugi, to znaczy dwuwymiarową interpolację pola odkształceń plastycznych na brzegu i we wnętrzu obszaru przy użyciu wielomianów Lagrange'a, połączoną z analizą rozmieszczenia węzłów interpolacyjnych, [1,3], wykorzystując przy tym odwzorowanie z obszaru podstawowego (kwadrat) do obszaru rzeczywistego.

Pole naprężeń określone jest przez silnie osobliwą tożsamość całkową na obszarze rozwiązania, co stwarza istotne problemy obliczeniowe. Jako element trzeci, w pracach [3, 5,6] przedstawiono odrębną metodę interpolacyjną wykorzystującą gradienty pola przemieszczeń i związki konstytutywne umożliwiające wyznaczenie stanu naprężenia w dowolnym punkcie obszaru. Dokładność tej metody zweryfikowano na prostych przykładach dla stanów sprężystych i sprężysto-plastycznych, badając dokładność wyznaczenia przemieszczeń i ich gradientów, efekt liczby i konfiguracji węzłów interpolacyjnych, wpływ funkcji bazowych itp.

Przedstawiony zbiór prac rozszerza w istotny sposób stosowalność metody PURC na nową klasę zagadnień, dla których poszukiwane pole fizyczne określone jest przez osobliwe całki po brzegu i po obszarze ważności rozwiązania. Do tej klasy należy analiza sprężysto-plastyczna, a także występowanie obciążeń przez siły masowe. Wyniki badań wnoszą również istotny wkład do ulepszonych metod analizy, takich jak interpolacyjna metoda wyznaczania naprężeń. W pracach przedstawiono wyniki analizy numerycznej dla szeregu prostych przykładów, takich jak rura grubościenna pod działaniem ciśnienia wewnętrznego, tarcza prostokątna z karbem kątowym poddana rozciąganiu, tarcza poddana ścisłaniu sztywnym stemplem, skręcanie pręta o przekroju kwadratowym, belka wspornikowa obciążona siłą poprzeczną. Do tych przykładów można wyrazić pewne uwagi.

1. *Osobliwe koncentratory naprężeń.* Do nich należą dwa przypadki: tarcza z karbem kątowym i tarcza obciążona sztywnym stemplem, analizowane w pracy [4]. W obu przypadkach sprężysty stan naprężenia jest osobliwy, gdyż naprężenie przed ostrzem karbu i na granicy stempla jest nieskończone. Rozwiązanie sprężysto plastyczne też będzie osobliwe przy osobliwej koncentracji odkształceń plastycznych. Co na to metoda PURC? W pracy podano pewne wyniki ale one nie zawierają istotnych informacji. Po prostu wielomianowa postać aproksymacji nie pozwala na opis stanów osobliwych. Opis pól osobliwych stanowi niewątpliwie temat odrębnego studium.

2. *Warunki obciążenia i odciążenia.* Stany sprężysto-plastyczne muszą spełniać warunek obciążenia $\mathbf{N} \cdot \dot{\boldsymbol{\sigma}} \geq 0$ i odciążenia $\mathbf{N} \cdot \dot{\boldsymbol{\sigma}} \leq 0$, gdzie \mathbf{N} jest wektorem normalnym do powierzchni plastyczności. Przy obciążeniu dwuparametrowym mogą wystąpić sytuacje, że następuje odciążenie w pewnych punktach obszaru plastycznego. Po pełnym odciążeniu w materiale pozostają naprężenia rezydualne. Ten problem został całkowicie pominięty w załączonych pracach.

3. *Statycznie wyznaczalny stan naprężenia.* Dla idealnej plastyczności stan naprężenia w pobliżu brzegu obciążonego jest jednoznacznie określony, bowiem mamy spełniony warunek plastyczności i równania równowagi. Te trzy warunki wystarczają do wyznaczenia stanu naprężenia w obszarze wpływu obciążonego brzegu. Jest bogata literatura na ten temat. Daje to możliwość porównania przybliżonej metody wyznaczania naprężeń z dokładnym stanem określonym równaniami statyki. Porównania przedstawione w pracach dr. Bołtuć nawiązują do innych prac i podobnie przybliżonych wyników, zatem nie są przekonywujące. W pracy [7] rozpatrzono skręcanie pręta o przekroju kwadratowym w zakresie sprężysto-plastycznym. Dla tego przypadku istnieje rozwiązanie i wizualizacja przez tzw. analogię wzgórze piaskowego (sand hill analogy) zakończonego powierzchnią wypukłą przy przejściu do strefy sprężystej, wynikającą z rozwiązania analitycznego. Brak jest starannej dyskusji i porównania wyników.

4. *Model wzmocnienia plastycznego.* Bardziej realistyczny model konstytutywny, to założenie wzmocnienia kinematycznego i izotropowego. Warunek plastyczności ma wtedy postać $f(\boldsymbol{\sigma} - \boldsymbol{\alpha}) - \sigma_p(\lambda) = 0$, gdzie $\boldsymbol{\alpha}$ jest tensorem naprężeń wstecznych opisujących efekt Bauschinger'a.

3. Ocena pozostałych prac

Dr A. Bołtuć jest współautorką 3 prac w czasopiśmie z bazy JCR oraz 11 prac opublikowanych w czasopiśmie krajowych i zagranicznych. Wszystkie prace dotyczą metody PURC, a w szczególności opracowania odpowiednich procedur numerycznych i zastosowań do różnych zagadnień: modelowania nieustalonego przepływu ciepła, analizy efektu sił masowych, optymalizacji wielokątnych obszarów, identyfikacji kształtu powierzchni, itp. Jest również współautorką 7 prac konferencyjnych, w tym 4 konferencji międzynarodowych. Wygłosiła referaty na 13 konferencjach, w tym 7 międzynarodowych.

4. Ocena działalności dydaktycznej i organizacyjnej

Dr A. Bołtuć prowadzi zajęcia dydaktyczne na Uniwersytecie w Białymstoku na Wydziale Matematyki i Informatyki dotyczące informatyki, metod obliczeniowych, optymalizacji itp. Prowadzi również wykłady na studiach podyplomowych dla nauczycieli. Była opiekunem i promotorem wielu prac licencjackich i magisterskich (ok. 50). Za działalność organizacyjną i dydaktyczną uzyskała nagrodę Rektora (2009), oraz medal brązowy przyznany przez Prezydenta R.P. (2017). Została również wyróżniona przez studentów jako Wykładowca Roku (2009). Pełniła funkcję zastępcy koordynatora projektu z Europejskiego Funduszu Strukturalnego, Kapitał Ludzki, 2009-2013.

Wniosek końcowy

Uważam, że dr Agnieszka Bołtuć posiada poważny dorobek naukowy, skoncentrowany na tematyce badań dotyczących ulepszonych metod numerycznych do analizy procesów fizycznych ważnych dla rozwoju technologii. Jest również doświadczonym dydaktykiem akademickim, wyróżnianym przez studentów, a także bierze udział w projektach badawczych. Uważam, że w pełni zasługuje na uzyskanie stopnia doktora habilitowanego.

Zanon Mróz