

Prof. dr hab. inż. J. Tejchman

Gdańsk 10.06.2019

Politechnika Gdańska

Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska

Gdańsk 80-233, ul. G. Narutowicza 11/12

Email: tejchmk@pg.edu.pl

Tel. 501 552 755

Recenzja rozprawy doktorskiej Nikhila Madana
„New formulation of the discrete element method
with deformable particles“

(tytuł polski „Nowe sformułowanie metody elementów dyskretnych
z odkształcalnymi cząstkami”)

Podstawa: decyzja Rady Naukowej IPPT PAN z dnia 25.04.2019 w piśmie dr hab. inż. Z. Ranachowskiego, prof. IPPT - sekretarza)

1. Ogólna charakterystyka pracy doktorskiej

Promotorem pracy doktorskiej mgr inż. Nikhila Madana „*New formulation of the discrete element method with deformable particles*“ jest prof. dr hab. inż. J. Rojek z IPPT PAN. Praca jest napisana w j. angielsku. Tytuł polski pracy brzmi „*Nowe sformułowanie metody elementów dyskretnych z odkształcalnymi cząstkami*”. Praca ma 128 stron i składa się z 6 rozdziałów. W pracy jest 164 referencji literaturowych. Praca doktorska została przygotowana w zakresie dyscypliny naukowej ‘*Mechanika*’. Doktorant jest współautorem 2 publikacji w prestiżowym czasopiśmie JCR „*International Journal for Numerical Methods in Engineering*” (IF=2.6, 40 punktów na liście ministerialnej) w latach 2018 i 2019.

Przedmiotem pracy jest metoda elementów dyskretnych (DEM) w warunkach sprężystych dwuwymiarowych. Celem pracy jest przedstawienie nowego sformułowania metody elementów dyskretnych, które uwzględni odkształcalność dyskretnych cząstek (DDEM) poprzez przyjęcie nielokalnego modelu kontaktu. Rozdział pierwszy omawia tło i motywację do podjęcia tematu pracy, zawiera obszerny przegląd literatury naukowej odnośnie metody elementów dyskretnych oraz przedstawia cele, zakres pracy i jej podział. W Rozdziale 2

sformułowano teoretycznie metodę elementów dyskretnych z odkształcalnymi dyskretnymi cząstkami w porównaniu z klasyczną metoda elementów dyskretnych. Rozdział 3 zawiera analizę zbieżności i stabilności nowej metody DEM dla prostego i heksagonalnego ułożenia dysków. W Rozdziale 4 omówiono związki mikro-makro w obszarze sprężystym dla nowej metody DEM oraz pokazano wyniki symulacji numerycznych 2D podczas jednoosiowego ściskania dla dysków o tej samej i różnej średnicy. W Rozdziale 5 znajdują się wyniki symulacji propagacji fal w sprężystym pręcie 2D dla dysków o tej samej średnicy. Rozdział 6 (wnioski końcowe) zawiera streszczenie, oryginalne elementy oraz prace na przyszłość.

2. Ocena pracy

Znaczenie problemu badawczego i oryginalne elementy

Podjęty problem badawczy ma duże znaczenie na wyniki obliczeń metodą elementów dyskretnych (DEM) w przypadku dużych sił kontaktowych dla cząstek odkształcalnych. Bardzo oryginalnym elementem pracy jest sformułowanie metody elementów dyskretnych poprzez uwzględnienie odkształcalności cząstek (nazwaną w pracy DDEM) i pokazanie wpływu odkształcalności cząstek na odpowiedź dyskretnego systemu 2D podczas jednoosiowego ściskania i propagacji fal sprężystych w pręcie. Uwzględnienie globalnego odkształcenia cząstek ma wpływ na nachodzenie się cząstek i liczbę nowych kontaktów i tym samym na kształt początkowej krzywej naprężenie-odkształcenie.

Uwzględnienie odkształcalności cząstek wymagało przez doktoranta znacznego rozszerzenia klasycznej metody elementów dyskretnych. Wykorzystano koncept globalnej odkształcalności cząstki poprzez niejawną zależność między siłami kontaktu a przemieszczeniami cząstek. Wykonano w pracy obszerne analizy dotyczące zbieżności i stabilności obliczeń nową metodą. Wskazano na istotny wpływ nowej metody na moduł sprężystości i liczbę Poissona podczas jednoosiowego ściskania dla elementów dyskretnych o tej samej i różnej średnicy oraz propagacji fal w sprężystym pręcie dla dysków o tej samej średnicy. Wpływ ten jest szczególnie widoczny w przypadku materiałów odkształcalnych o dużej liczbie Poissona oraz dla elementów dyskretnych o podobnej średnicy. Wyniki numeryczne DDEM porównano z klasyczną metodą elementów dyskretnych DEM. Uzyskano poszerzenie zakresu makroskopowych właściwości sprężystych materiałów (np. liczby

Poissona - znacznie wyższa niż 0.33 (Rys.4.17 i 4.18)). Wyniki numeryczne były stabilne i zbieżne. Praca została napisana starannie, zrozumiale, zwięźle i dobrze po angielsku.

Uwagi krytyczne

Mam jedynie drobne uwagi krytyczne do pracy doktorskiej.

Rozdział 1:

- W rozdziale brak wzmianki o modelach DEM z kulami i momentami kontaktowymi, które pozwalają w przybliżeniu uwzględnić różny kształt cząstek (np. Widulinski et al. IJSS, 2011, Kozicki et al. IJNAMG, 2014).
- Nie jest prawdą, że rozszerzone modele ciągłe (z tzw. regularyzacją) nie mogą realistycznie opisać nieliniowych deformacji (np. Tejchman, Springer 2008).
- Liczba Poissona w metodzie siatkowej z beleczkami może mieć maksymalną wartość 0.35 (a nie tylko 0.25) (Kozicki i Tejchman, Springer 2010).

Rozdział 4:

- Brakuje obliczeń porównawczych stosując podejścia DEM i DDEM dla rzeczywistych materiałów inżynierskich (granulat/beton/skała) o liczbie Poissona w zakresie 0.20-0.35 (z uwzględnieniem np. różnego kształtu i wielkości cząstek oraz uziarnienia) w celu dokładnego oszacowania wpływu nowego podejścia DDEM na wyniki numeryczne w obszarze sprężystym. W klasycznym DEM maksymalna liczba Poissona materiałów granulowanych jest równa w obliczeniach 3D około 0.33 (Belheine et al. CG, 2009, Kozicki et al. GM, 2012).
- Czy przez odpowiednią kalibrację stałych sprężystych w kontaktach w klasycznych modelach DEM (z niejednorodnymi cząstkami) otrzymuje się te same wyniki globalne jak w modelu DDEM dla typowych materiałów inżynierskich o strukturze ziarnistej z liczbą Poissona mniejszą niż np. 0.35?
- Rys.4.13 i 4.14: Brakuje wyników obszernych studiów parametrycznych DDEM z różną mezo-strukturą materiału granulowanego na Rys.4.8.
- Rys.4.13: Dla jakiego odkształcenia pokazano obrazy pęknięcia? Nie opisano występujących różnic.
- Czy zbadano wpływ DDEM na wyniki numerycznych w czasie innych prostych testów elementowych dla materiałów granulowanych z dużą liczbą Poissona (np. ściskanie dwuosiowe, ścinanie)?




- Jaki jest porównawczy czas obliczeń w przypadku obu metod (DEM i DDEM)?
- Jaki jest wpływ zmiany gęstości cząstek wskutek odkształcenia w podejściu DDEM?

3. Podsumowanie

Oceniam pozytywnie pracę doktorską mgr inż. N. Madana. Praca zawiera innowacyjne i oryginalne elementy (sformułowanie metody elementów dyskretnych, która uwzględnia odkształcalność dyskretnych cząstek). Sformułowana metoda ma duże znaczenie dla obliczeń dyskretnych w obszarze sprężystym w przypadkach materiałów odkształcalnych o dużej liczbie Poissona. Kandydat wykazał się umiejętnością samodzielnego myślenia i samodzielnymi obliczeniami numerycznymi. Wykazał się dużą wiedzą w zakresie mechaniki i obliczeń numerycznych metodą elementów dyskretnych. Na uwagę zwraca fakt, że jest współautorem 2 publikacji w renomowanym czasopiśmie JCR „*International Journal for Numerical Methods in Engineering*”. Praca spełnia wymagania stawiane przez obowiązującą ustawę z 14.03.2013 roku o stopniach i tytułach naukowych. Wnioskuje o jej przyjęcie i dopuszczenie do publicznej obrony.

J. Tejchman

Gdańsk 10.06.2019

Kierownik Katedry
Budownictwa i Inżynierii Materiałowej

prof. dr hab. inż. J. Tejchman, prof. zw. PG