

Poznań, dn. 03.07.2015

Dr hab. inż. Jan Szczepaniak, prof. nadzw.
Przemysłowy Instytut Maszyn Rolniczych
ul. Starołęcka 31, 60-963 Poznań

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr inż. Marcina Zabielskiego

pt.: MODEL SYMULACJI PROPAGACJI NAPRĘŻEŃ W GLEBIE GENEROWANYCH PRZEZ OPONY MASZYN ROLNICZYCH

Podstawa formalna wykonania recenzji

Zlecenie nr PO/18/2015 z dnia 25.05.2015, skierowane przez Dziekana Wydziału Budownictwa, Mechaniki i Petrochemii Politechniki Warszawskiej w Płocku, w sprawie opracowania recenzji rozprawy doktorskiej mgr inż. Marcina Zabielskiego.

Do pisma dołączony jest egzemplarz pracy doktorskiej, napisanej przez Doktoranta pod kierunkiem Pani prof. ndzw. dr hab. Ewy Kasprzyckiej oraz promotora pomocniczego dr inż. Włodzimierza Malesy z Politechniki Warszawskiej - Wydział Budownictwa, Mechaniki i Petrochemii w Płocku.

1. WPROWADZENIE

Problematyka degradacji środowiska glebowego jest badana i analizowana przez wiele środowisk naukowych, a w szczególności środowiska inżynierii rolniczej zajmującej się m. in. zagadnieniami naprężeń powstałych w warstwie ornej gleby w wyniku przejazdu agregatów rolniczych stanowiących niewątpliwie główne źródło degradacji środowiska glebowego.

Zarówno w krajowych ośrodkach naukowo badawczych, które w większości Doktorant wymienił w przedstawionej do recenzji pracy, jak i zagranicznych, w tym m. in. w zespole prof. Paceyki w Delft University of Technology, czy prof. D. L. Boardmana w National Soil Dynamics Laboratory prowadzonych jest szereg badań zarówno analitycznych, a także eksperymentalnych stosując różne metody badawczo pomiarowe w tym zakresie.

Doktorant w swoich badaniach zajął się głównie zagadnieniami wyznaczenia kryteriów oddziaływania mechanizmów jezdnych maszyn i urządzeń rolniczych na glebę oraz opracowania modeli opisujących rozkład wartości nacisków występujących w glebie, w wyniku przejazdu kołowego układu jezdnego. Zamierzeniem prowadzonych badań było m.in. uzyskanie maksymalnej mocy trakcyjnej mechanizmów napędowych maszyn i urządzeń w ruchu po ziemi, przy jednoczesnym zapewnieniu możliwie najmniejszych jednostkowych nacisków kół maszyn rolniczych na glebę.

Faktem jest, iż dotychczasowe badania oddziaływania koła jezdnego na glebę realizowane są najczęściej w warunkach laboratoryjnych z zastosowaniem specjalistycznych kanałów glebowych lub w warunkach polowych. W obu przypadkach stosuje się zestaw specjalistycznych urządzeń oraz aparaturę kontrolno – pomiarową, które w większości przypadków są bardzo kosztowne a sam przebieg badań jest niejednokrotnie bardzo czasochłonny.

Stąd też, Doktorant mając na uwadze możliwość stosowania współczesnych, dynamicznie rozwijających się informatycznych aplikacji inżynierskich w postaci zaawansowanych systemów komputerowych wspomaganie projektowania i badań, podjął się trudnego zadania dotyczącego opracowania matematycznego modelu symulacji propagacji naprężeń w glebie, generowanych przez opony maszyn rolniczych, z wykorzystaniem metod numerycznych bazujących na metodzie elementów skończonych (MES).

Sformułowana w pracy hipoteza " *możliwa jest wiarygodna analiza propagacji naprężeń w ośrodku glebowym, powstałych w wyniku oddziaływania kołowego mechanizmu jezdnego na podłoże, przez zastosowanie metod modelowania cyfrowego i obliczeń Metodą Elementów Skończonych*", została poprawnie zweryfikowana przez Doktoranta, co wynika ze zgodności obliczeń numerycznych z wynikami zarejestrowanymi w badaniach laboratoryjno-polowych. W porównawczych badaniach analitycznych Autor dokonał również aproksymacji uzyskanych wyników obliczeń, stosując funkcję potęgową. Potwierdził tym samym wysoki współczynnik korelacji zgodności zastosowanych metod z wzorcowymi zależnościami analitycznymi.

W zaproponowanej przez Autora metodyce badań, opracowano model obliczeniowy rolniczej opony napędowej i felgi odwzorowując ich cechy geometryczne. Zamodelowane zostały również ośrodki glebowe charakteryzujące się parametrami gleb najczęściej występujących na krajowych obszarach upraw rolnych.

Poprzez zmianę wartości opisujących podstawowe właściwości wybranych ośrodków glebowych i przeprowadzeniu symulacji komputerowych, Autor uzyskał rozkłady naprężeń dla wybranych przypadków typowych gleb a wyniki symulacji zostały odniesione i porównane z wynikami badań otrzymanych na kanale glebowym.

Temat pracy wymagał od Autora dobrego przygotowania z teorii szeroko pojętej inżynierii rolniczej oraz metod numerycznych z zakresu szeroko pojętego komputerowo wspomaganego projektowania (CAD). Dla zagadnień objętych przedmiotową dysertacją, badania te stanowią istotny wkład w kierunku ograniczenia drogich i długotrwałych badań eksperymentalnych.

Można więc stwierdzić, że stopień trudności tematu i podjęty sposób jego rozwiązywania w pełni odpowiada aktualnym wymaganiom w odniesieniu do prac doktorskich.

2. OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA ROZPRAWY

Opiniowana rozprawa została zawarta na 114 stronach wraz z załącznikami i jest podzielona na siedem rozdziałów oraz bibliografię i trzy załączniki A,B i C, w których zamieszczono wielowariantowe wyniki badań i analiz. Bibliografia obejmuje 140 pozycji literaturowych oraz wykaz ważniejszych oznaczeń i symboli stosowanych w tekście, co ułatwia czytelnikowi łatwą i szybką identyfikację parametrów odnoszących się do zależności matematycznych.

Analizując główne rozdziały pracy, zawartość rozprawy doktorskiej można scharakteryzować w sposób następujący:

W rozdziale 1, Doktorant przedstawił studium problemu z ukierunkowaniem na znaczenie badań odnoszących się do procesu oddziaływania kół pojazdów na glebę oraz uniknięcia negatywnych skutków, wynikających z zastosowania ciężkich agregatów rolniczych w uprawach rolnych.

Doktorant zwrócił uwagę na fakt, iż dotychczasowe badania oddziaływania koła jezdnego na glebę realizowane są w warunkach laboratoryjnych lub polowych. Badania te wymagają stosowania specjalistycznej i kosztownej aparatury naukowo badawczej i długiego okresu ich realizacji. Tym samym wymagają dużych nakładów finansowych a, i co bardziej istotne, sezonowości agrotechnicznej. Stąd też, w niniejszej pracy dysercyjnej Autor rozprawy pod kierunkiem Promotora, podjął się próby zastosowania metod numerycznych bazujących na metodzie elementów skończonych (MES) i przeprowadzenia analizy wybranych parametrów układu opona-gleba wykorzystując model dyskretny opisujący oddziaływanie koła pneumatycznego na glebę.

W rozdziale 2 bardzo szeroko przedstawiony i omówiony został stan zagadnienia odnoszący się do studium literaturowego uwzględniający:

- oddziaływanie mechanizmów jezdnych na glebę;
- właściwości mechaniczne, fizyko-chemiczne i trakcyjne gleby;
- parametry techniczne układów jezdnych z uwzględnieniem układu kołowego oraz gąsienicowego;
- opis teoretyczny kontaktu opony z glebą wraz z opisem rozkładu powstających naprężeń w układzie 3D;
- wprowadzenie do Metody Elementów Skończonych z uwzględnieniem narzędzi systemowych przeznaczonych dla zagadnień realizowanych w pracy;

- stan wiedzy w zakresie stosowanych badań laboratoryjnych i eksperymentalnych w świetle możliwości badań porównawczych odnoszących się do metod numerycznych.

W rozdziale 3, Autor sformułował hipotezę oraz zakres i cel pracy, którym była weryfikacja metod cyfrowych pod kątem zgodności obliczeń z wynikami badań laboratoryjno - polowych. Szeroki zakres badań obejmował opracowanie modeli geometrycznych i ich dyskretyzację skończenie elementową wraz z przypisanymi warunkami brzegowymi, przebieg obliczeń numerycznych i weryfikację wyników w odniesieniu do badań analitycznych i eksperymentalnych.

Zakres pracy obejmował również numeryczną analizę wrażliwości zmian właściwości fizykochemicznych gleby, w tym: gęstość, moduł Younga i współczynnik Poissona oraz ich wpływ na rozkład nacisków w glebie, a także numeryczną analizę wrażliwości wybranych parametrów eksploatacyjnych, obejmującą zmianę ciśnienia napompowania i jego wpływ na rozkład nacisków w podłożu.

Do opisu modelu pojazd – teren, Doktorant zastosował system komputerowy CAD INVENTOR a zakres przeprowadzonych czynności podczas modelowania cyfrowego układu pojazd został opisany i zilustrowany w rozdziale 4.

W rozdziale tym, omówiono również dobór parametrów obliczeniowych i warunków brzegowych. Wykorzystując postprocesor graficznej interpretacji wyników obliczeń zamieszczono przykładowe wartości naprężeń w postaci graficznej i numerycznej

Analizę porównawczą opracowanego modelu numerycznego wraz z uwzględnieniem sił trakcyjnych otrzymanych na kanale glebowym Doktorant przedstawił w rozdziale 5.

W formie graficznej przedstawił również wizualizacje oddziaływania układu opona gleba, których opis w postaci graficznej i cyfrowej został wykonany zgodnie z zaproponowaną w pracy metodyką i z wykorzystaniem stosownych narzędzi komputerowych.

W zakończeniu, w rozdziale 6 podkreślono znaczenie prowadzenia badań symulacyjnych w odniesieniu do badań empirycznych i eksperymentalnych a w szczególności odnoszących się do kosztów prowadzenia badań i ich agrosezonowości.

Faktem jest, iż zweryfikowana pozytywnie hipoteza niesie ze sobą szereg pozytywnych konsekwencji związanych z czasem i kosztami realizacji prac związanych z opracowaniem nowych konstrukcji już na etapie projektowania.

3. OCENA ROZPRAWY

Tematyka recenzowanej rozprawy doktorskiej wiąże się z ważnym w dziedzinie eksploatacji maszyn rolniczych zagadnieniem wpływu przejazdów maszyn po polach na stan gleby. Stan

ten zależy od wartości i rozkładu naprężeń powstałych w glebie w wyniku oddziaływania układów jezdnych maszyn i agregatów rolniczych. Zagadnienie to jest przedmiotem licznych prac, zarówno teoretycznych jak i doświadczalnych.

Omawiana praca, dotycząca modelu propagacji naprężeń generowanych w glebie przez opony maszyn rolniczych, włącza się zatem w istotny i aktualny nurt badań. Tematyka pracy jest szczególnie ważna wobec aktualnych zmian zachodzących na rynku maszyn rolniczych, na którym możemy zauważyć maszyny o coraz większych masach i poruszające z coraz większymi prędkościami.

Realizację przedstawionego w pracy zadania oceniam pozytywnie ze względu na :

- prawidłowe zdefiniowanie przedmiotu badań, jakim jest opracowanie modelu propagacji naprężeń generowanych w glebie przez opony maszyn rolniczych,
- rzeczowy sposób prezentacji wyników,
- wykazanie przez Doktoranta dobrej orientacji w zakresie zagadnień związanych z problematyką kontaktu opony z glebą oraz wykorzystania metod numerycznych odnoszących się w tym przypadku do systemów obliczeniowych MES.

Do realizacji podstawowego celu pracy, który polegał na wykazaniu zasadności wykorzystania Metody Elementów Skończonych do badania propagacji naprężeń powstałych w glebie w wyniku oddziaływania kołowego mechanizmu jezdnych maszyn rolniczych, Doktorant zastosował nowoczesne narzędzia informatyczne wspomagające pracę inżyniera. Wyniki prac uzyskanych podczas realizacji pracy dyplomowej mogą być wykorzystane i stosowane przez inżynierów mechaników w pracach nad projektowaniem i budową nowych maszyn i urządzeń rolniczych. Jest to niewątpliwie istotna zaleta przedstawionej metodyki zwiększająca jej walory użytkowe.

Pod względem merytorycznym zaprezentowana praca nie budzi zastrzeżeń. Układ pracy jest logiczny i przejrzysty, podział na rozdziały poprawny. Analizując treść rozprawy można dostrzec pewne usterki i niedociągnięcia. Poniżej przedstawiam kilka uwag i propozycji do ewentualnej wspólnej dyskusji, a mianowicie:

- do prowadzenia obliczeń, Autor wykorzystał system komputerowy Autodesk Inventor (AI). Zdaniem recenzenta korzystniejsze byłoby zastosowanie systemu komputerowego pozwalającego na bardziej zaawansowane modelowanie obiektów o nieliniowych charakterystykach obciążeń np. ADINA czy ANSYS. Nawet moduł Autodesk Simulation w systemie AI, który pozwala na pracę w zakresie charakterystyk nieliniowych i działa w części sprężystej charakterystyki materiału. Ogranicza to w

pewnym stopniu możliwość dokładnej analizy bardziej złożonych procesów związanych z propagacją naprężeń występujących w glebie i pozwala uzyskać naprężenia tylko w początkowej fazie ugniatania.

- warunki brzegowe modelu to nie są, jak pisze Autor, „podstawowe parametry obliczeniowe modelu” (str. 53). W modelach MES warunki brzegowe dotyczą „blokowania” stopni swobody w węzłach modelu, celem uwarunkowania modelu w przestrzeni a także opisują warunki połączeń między elementami. Autor nazywa je ograniczeniami powierzchni oraz wiązaniami konstrukcyjnymi (str. 55).
- Autor pisze (str. 48), że dążył do tego, by model opony „jak najbardziej odzwierciedlał jej rzeczywisty kształt”. Nie jest to dobre kryterium jakości modelu, gdyż może prowadzić do nadmiernego wzrostu liczby elementów i stopni swobody, co zwiększa czas obliczeń bez efektu zwiększenia dokładności wyników obliczeń, a nawet ją pogarsza poprzez kumulację błędów numerycznych. Dobór odpowiedniej wielkości elementów i dokładności odwzorowania kształtu nie jest zadaniem prostym i niekiedy wymaga przeprowadzenia obliczeń testowych w celu dostrojenia modelu.
- rodzi się też pytanie w jakim celu w rozdz. 5.3 wprowadzono aproksymację wyników symulacji za pomocą funkcji potęgowej. W celu uzyskania parametrów zależności (16) dla różnych opon lub różnych warunków glebowych i tak należy przeprowadzić obliczenia numeryczne modelu opony i gleby, które niosą zdecydowanie więcej informacji.

Pod względem edytorskim praca jest napisana poprawnie, z zastosowaniem odpowiednich narzędzi chociaż Autor nie ustrzegł się pewnych przeoczeń i błędów, m. in.:

- w tekście pracy kilkakrotnie występują powtórzenia, np. stwierdzenie, że mechanizmy napędowe maszyn rolniczych powinny „wywierać możliwie najmniejszy jednostkowy nacisk, a jednocześnie uzyskać maksymalną moc trakcyjną w danym momencie” powtarza się w zbliżonej postaci m. in. na str. 26, 38, 40, 45. Także opis metod badawczych w kanale glebowym za pomocą urządzenia Trak powtarza się na str. 16 i str. 44 – 45.
- w wielu prezentowanych zależnościach Autor albo nie podaje stosowanych jednostek (np. w zal. (1), (5), (6), (9)) albo nie są to jednostki SI (np. zal. (2), (3)). W tekście występują też zależności, w których w ogóle nie ma opisu stosowanych wielkości (wszystkie zależności z tabeli. 1, zal. (4), (7), (8)).
- na rys. 58 błędnie opisano oś X.

- w podpisie pod rys. 2 znajduje się odniesienie do pozycji literatury [31], a w tekście poniżej, rysunek ten wiązany jest z pozycją [42].

Powyższe uwagi nie przekreślają jednak bardzo cennej wartości merytorycznej pracy. Stanowi ona istotny dorobek naukowy Autora w reprezentowanej dyscyplinie naukowej, a jej wyniki są wartościowe, szczególnie z praktycznego punktu widzenia. Doktorant wykazał się dobrą znajomością zagadnienia i umiejętnością prowadzenia prac naukowych, posługując się nowoczesnymi narzędziami oraz umiejętnością samodzielnej realizacji pracy dzięki znajomości ogólnej metodyki pracy, właściwego doboru narzędzi naukowo badawczych oraz umiejętności jego uzasadnienia.

Autor w dysertacji podjął się bardzo trudnego zadania, które z oczywistych względów nie wyczerpuje całości zagadnień związanych z modelowaniem naprężeń w glebie i mogłoby być z powodzeniem kontynuowane w pracy habilitacyjnej.

Ilość czynników wpływających na to zjawisko jest znaczna, co bardzo komplikuje zagadnienie. Interesujące, na przykład, byłoby przeprowadzenie obliczeń dla parametrów opisujących różne typy gleby, przy czym elementami badań byłyby nie tylko naprężenia w wybranych punktach podłoża, ale także ich rozkład i zasięg zmian w glebie. Podczas publicznej obrony pracy z zainteresowaniem wysłucham kierunków dalszych prac planowanych przez Doktoranta w tym obszarze.

4. PODSUMOWNIE I WNIOSEK KOŃCOWY

Na podstawie analizy przedstawionej mi do oceny rozprawy doktorskiej ustaliłem, że:

- autor dokonał trafnego wyboru tematyki swoich badań, a jej zakres spełnia stawiane wymagania pracom dysertacyjnym,
- dysertacja dobrze nawiązuje do aktualnej wiedzy i praktyki, a w niektórych elementach wnosi do nich nowe treści,
- cel pracy, w zakresie przyjętym przez Doktoranta, został osiągnięty, gdyż zrealizowano wszystkie postawione zadania szczegółowe, a prezentowane wyniki są uzyskane w poprawnie przeprowadzonych studiach i pracach własnych i mogą służyć do dalszych prac naukowo badawczych,
- formalny układ pracy jest prawidłowy,
- akumulacja należycie ustalonych faktów sprawia, że została spełniona zasada logicznej poprawności pracy.

Powyższe fakty świadczą o kompetencjach Doktoranta w zakresie samodzielnego prowadzenia badań naukowych oraz wskazują na Jego dużą wiedzę ogólną i umiejętności

praktyczne w wybranej dyscyplinie naukowej, w której mieszczą się zagadnienia objęte recenzowaną rozprawą.

Stwierdzam zatem, że praca mgr inż. Marcina Zabielskiego pt: „**MODEL SYMULACJI PROPAGACJI NAPRĘŻEŃ W GLEBIE GENEROWANYCH PRZEZ OPONY MASZYN ROLNICZYCH**” napisana pod kierunkiem Pani prof. ndzw. dr hab. Ewy Kasprzyckiej oraz promotora pomocniczego dr inż. Włodzimierza Malesy, pracowników naukowych Politechniki Warszawskiej - Wydział Budownictwa, Mechaniki i Petrochemii w Płocku, spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim przez obowiązujące przepisy (Ustawa o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003 roku).

Na tej podstawie zgłaszam wniosek o dopuszczenie mgr inż. Michała Zabielskiego do dalszych etapów przewodu doktorskiego i w przypadku pozytywnego przebiegu obrony, wnoszę o jej wyróżnienie ze względu na:

- oryginalny sposób postawienia problemu naukowego wraz z uzasadnieniem,
- profesjonalny sposób przeprowadzenia badań symulacyjnych oraz porównawczych badań laboratoryjnych i eksperymentalnych,
- możliwość zaadoptowania przyjętej i dowiedzionej w pracy hipotezy, do praktyki.

Poznań, 6.07.2015 r.


Dr hab. inż. Jan Szczepaniak prof. nadzw.