

27.09.2023

525 / 2023

Warszawa 23.09.2023

Prof. dr hab. inż. Katarzyna Kowalczyk-Gajewska
Instytut Podstawowych Problemów Techniki
Polskiej Akademii Nauk
ul. A. Pawińskiego 5b, 02106 Warszawa
kkowalcz@ippt.pan.pl

Przejętem 27/09/2023

DZIEKAN
Wydziału Inżynierii Lądowej
prof. dr hab. inż. Andrzej Garbacz

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr. inż. Aleksandra Franusa

pt. „Uogólnienie modeli konstytutywnych hipersprężystości o opis właściwości reologicznych materiału”

Promotor: prof. dr hab. inż. Stanisław Jemioła

Podstawa opracowania recenzji: uchwała Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Warszawskiej z dnia 4.07.2023, pismo Przewodniczącego tej Rady dr. hab. inż. Konrada Lewczuka, prof. uczelni, z dnia 13.07.2023 oraz pismo Dziekana Wydziału Inżynierii Lądowej PW prof. dr hab. inż. Andrzeja Garbacza z dnia 12.07.2023.

1. Uwagi ogólne

Przedmiotem rozprawy jest modelowanie konstytutywne materiałów, które wykazują właściwości niesprężyste wrażliwe na prędkość odkształcenia w zakresie dużych deformacji, przy wykorzystaniu modelu lepko-hipersprężystości. Przedstawione w pracy relacje konstytutywne mieszczą się w zakresie klasycznej mechaniki ciała stałego, w szczególności opierają się na standardowych postulatach konstruowania takich zależności bazujących na uznanych zasadach obiektywności i symetrii materiału, termodynamicznej dopuszczalności związanej z drugą zasadą termodynamiki, jak również bardziej szczegółowych postulatach dotyczących funkcji energii opisującej odpowiedź hipersprężystą materiału: poliwyppukłości i warunkach wzrostu. Przedstawioną do recenzji rozprawę można umieścić w szerszym kontekście fenomenologicznego modelowania konstytutywnego opartego na ograniczeniach fizycznych rygorystycznie opisanych językiem matematyki, a w szczególności rachunku tensorowego. Mimo rosnącej popularności modelowania wielo-skalowego i mikromechanicznego, tego typu podejście do opisu właściwości materiału nadal pełni istotną rolę w analizie i projektowaniu konstrukcji inżynierskich, przede wszystkim zaś jest wykorzystywane w symulacjach numerycznych metodą elementów skończonych. Modele konstytutywne poprawnie sformułowane w zakresie dużych deformacji przedstawione w pracy mogą znaleźć zastosowanie dla szerokiej klasy materiałów gumopodobnych (twardych i miękkich elastomerów), również zbrojonych włóknami, czy innych materiałów wrażliwych na prędkość odkształcenia, dla których przy projektowaniu wykonanych z nich elementów konstrukcyjnych istotne jest poprawne opisanie zjawisk relaksacji i pełzania.

Rozprawa ma dość klarowną strukturę i składa się z siedmiu rozdziałów. Pierwszy rozdział to wstęp, w którym Autor sformułował również tezę rozprawy. Rozdziały 2 i 3 mają charakter przeglądowy. Część ta stanowi ok. 50% objętości rozprawy nie licząc dodatków. W rozdziale czwartym Autor przedstawia trzy klasy oryginalnych propozycji uogólnienia modeli

hipersprężystości o opis efektów lepkich: i. ze zmienną wewnętrzną w postaci funkcji skalarnej, ii. ze zmienną wewnętrzną w postaci tensora drugiego rzędu oraz iii. materiałów lepko-hipersprężystych zbrojonych włóknami. W rozdziale piątym zaproponowane modele zostały przeanalizowane dla podstawowych zadań: relaksacji i pełzania oraz quasi-statycznej jednorodnej cyklicznej deformacji ze stałą prędkością. Rozdział szósty przedstawia implementację numeryczną modeli w metodzie elementów skończonych (MES) i zawiera odpowiednie testy numeryczne z jednorodnymi i niejednorodnymi polami deformacji dla wybranych modeli zaproponowanych w rozdziale czwartym. W ostatnim rozdziale Autor przedstawił podsumowanie i wnioski. Rozprawa zawiera również spis literatury obejmujący 156 pozycji, z czego ponad 30% stanowią artykuły w czasopiśmie międzynarodowych opublikowane w ciągu ostatnich 10 lat, co świadczy o utrzymującym się zainteresowaniu podjętym tematem. Należy wspomnieć, że 7 pozycji wymienionych w spisie literatury jest współautorstwa Doktoranta, choć tylko jedna z nich [48] ukazała się w czasopiśmie z ustalonym IF - *Journal of Engineering Mathematics*. Ponadto praca zawiera dwa dodatki prezentujące kody procedur UMAT i UANISOHYPER_INV wytworzone przez mgr. Franusa na potrzeby implementacji proponowanych przez Niego modeli w programie Abaqus. Praca liczy 139 stron i została napisana w języku polskim. Do rozprawy dołączono 2-stronicowe streszczenie w języku angielskim. Szczegółowe krytyczne omówienie treści rozprawy zamieszczam w kolejnej części recenzji.

2. Szczegółowe omówienie treści rozprawy

Rozdział 1 w swej pierwszej sekcji przedstawia motywację podjęcia zagadnień dyskutowanych w pracy przedstawiając przykłady własności reologicznych materiałów konstrukcyjnych znajdujących zastosowanie w inżynierii lądowej i istotnych przy ich projektowaniu. Podaje następnie krótki przegląd literatury dotyczącej relacji konstytutywnych zaproponowanych przy wykorzystaniu matematycznej teorii hipersprężystości dokonując ich klasyfikacji na izotropowe i anizotropowe oraz ściśliwe, małościśliwe i nieściśliwe oraz podkreślając znaczenie pojęcia poliwy pukłości. W zakresie dotyczącym właściwości reologicznych Autor skupia się na istniejących opisach efektu Mullinsa – zmiany charakteru odpowiedzi mechanicznej materiałów gumopodobnych w kolejnych cyklach deformacji. Druga sekcja rozdziału przedstawia tezę pracy. Doktorant formułuje ją następująco: *relacje konstytutywne kontinuum ciała stałego powinny uwzględniać: (1) wymaganie obiektywności związanej z transformacjami Galileusza oraz danej symetrii materiału w konfiguracji początkowej, (2) termodynamiczną dopuszczalność poprzez ograniczenie wynikające z nierówności Clausiusa-Duhema, (3) poliwy pukłość oraz warunki wzrostu funkcji energii sprężystej*. Należy zauważyć, że teza ta jest zgodna z ekwiwalentnymi wymaganiami umieszczonymi w wielu monografiach dotyczących mechaniki kontinuum, np. pozycje [65] lub [132] ze spisu literatury.

W Rozdziale 2 Kandydat przedstawia elementy klasycznej mechaniki ośrodków ciągłych w zakresie dużych deformacji, poczynając od opisu kinematyki ciała materialnego, odpowiednich miar naprężenia poprzez definicje pochodnych obiektywnych, wprowadzenie zasad zachowania, jak również I i II zasady termodynamiki, po sformułowanie ogólnej struktury relacji konstytutywnych. W ten sposób zostają sformułowane matematyczne równania lub nierówności opisujące postulaty (1) i (2) z tezy rozprawy: odpowiednio równania (2.6.2) i (2.6.8) oraz nierówność (2.6.5). Przedstawiony opis jest klasyczny, choć Autor nie ustrzegł się pewnych błędów lub nieściśłości, być może jedynie edytorskich, które zostaną wskazane w kolejnej części recenzji.

Rozdział 3 omawia relacje konstytutywne lepko-hipersprężystości. Pierwsza sekcja rozdziału skupia się na hipersprężystości przedstawiając ogólne właściwości funkcji energii sprężystości W i wynikającej z niej postaci zależności typu potencjalnego między odpowiednimi tensorowymi miarami naprężenia i odkształcenia. Dyskutowane są konsekwencje założenia o istnieniu stanu naturalnego, jak również założenia dotyczące ekstremalnych odkształceń (warunki wzrostu). Autor przedstawia również warunek Legendre'a-Hadamarda związany z warunkiem wypukłości pierwszego rzędu i silnej eliptyczności funkcji $W(F)$ a następnie dyskutuje warunku quasi-wypukłości i poliwyypukłości takiej funkcji. Przywołane jest również twierdzenie o istnieniu rozwiązania sformułowania wariacyjnego zagadnienia brzegowego hipersprężystości dla funkcji W , która jest poliwyypukła i spełnia warunek wzrostu. Kolejne dwie podsekcje poświęcone są znanym z literatury przykładom funkcji W , które spełniają wskazane wymagania dla materiałów izotropowych i transwersalnie izotropowych. Przedstawione propozycje bazują na teorii reprezentacji funkcji tensorowych. W dalszej części pracy, w przypadku materiałów izotropowych Autor wykorzystuje uogólnioną funkcję modelu Ciarleta dla modelu ściśliwego oraz zmodyfikowany model Ishihary-Zahorskiego w przypadku materiałów nieściśliwych. W drugiej sekcji rozdziału trzeciego dyskutowane są ogólne stosowane w literaturze postaci relacji konstytutywnych lepko-hipersprężystości: postać różniczkowa i prędkościowa, postać całkowa, jak również postać wynikająca z teorii zmiennych wewnętrznych Colmanna i Nolla, gdzie efekty lepkie pojawiają się w materiale na skutek zależności energii swobodnej Helmholtza od dodatkowych parametrów, które ewoluują w procesie deformacji. To ostatnie podejście jest wykorzystywane w dalszej części rozprawy.

Rozdział czwarty stanowi oryginalny wkład Doktoranta. Formułuje w nim własne propozycje modeli lepko-hipersprężystości. Na początek znane w literaturze funkcje energii sprężystej Ciarleta i Ishihary-Zahorskiego zostają przeformułowane, przy założeniu ich kwadratowej aproksymacji i założeniu umiarkowanie dużych odkształceń, do postaci bezwymiarowej skalowanej parametrem materiałowym odpowiadającym modułowi ścinania w zakresie teorii małych odkształceń. Następnie w sekcji 4.2 podane są ich zasadniczo trzy różne uogólnienia o opis właściwości lepkich. Pierwsze z nich korzysta z analogii do kontynualnych modeli uszkodzenia i wprowadza skalarną zmienną wewnętrzną g podążając za pracami Berjamina i innych [14,15], z identyczną jak w tych pracach postacią funkcji energii swobodnej i sformułowaniem równania ewolucji dla zmiennej wewnętrznej, a jedynie zmieniając stosowane izotropowe funkcje energii sprężystej. Drugie uogólnienie zamiast zmiennej skalarnej wprowadza parametr tensorowy drugiego rzędu i zamiast równania ewolucji dla tego parametru postuluje równanie określające odpowiadającą mu siłę termodynamiczną. Uogólnienie to sformułowano w kilku wariantach odpowiadających materiałom ściśliwym i małościśliwym. Ostatnia klasa uogólnień odpowiada materiałom transwersalnie izotropowym (w pracy opisywanych również jako zbrojone włóknami), gdzie ekwiwalentne do dwóch pierwszych uogólnień, sformułowania z parametrem skalarnym lub tensorowym przyjmują jednocześnie funkcje energii sprężystej właściwe dla tej symetrii materiału. W ocenie recenzenta opis wprowadzonych uogólnień jest nieco niejasny. Z przedstawionego opisu dość trudno odróżnić, które z zależności są postulatem a które konsekwencją przyjętych założeń, jak również które z wielkości występujących w równaniach są stałymi materiałowymi, a które funkcjami.

W Rozdziale 5 przewidywania zaproponowanych uogólnień są analizowane dla podstawowych zadań, a mianowicie relaksacji i pełzania oraz quasi-statycznych deformacji ze stałą prędkością na dwóch (cykl „obciążenie-odciążenie”) lub czterech (dwa cykle typu „ściskanie-rozciąganie”)

przedziałach czasowych. Dla standardowego procesu relaksacji z założonym stałym tensorem gradientu deformacji podano rozwiązania analityczne przy pewnych dodatkowym uproszczeniach, zaś dla zadań pełzania (stały tensor naprężenia) sformułowano odpowiedni układ równań różniczkowych, dla którego podano wybrane rozwiązania numeryczne. W przypadku prób quasi-statycznych rozważano hydrostatyczny gradient deformacji (równomierny trójosiowy) i jednoosiowy stan odkształcenia. Opisując otrzymane rezultaty Doktorant skoncentrował się na otrzymywanych naprężeniach i ewolucji parametru wewnętrznego. Rozdział ten budzi pewien niedosyt. Co prawda we wstępie rozprawy Autor sygnalizuje, że „zapropozowane klasy modeli dotyczą opisu jakościowego, natomiast wyznaczenie parametrów materiałowych stanowi odrębne zagadnienie” i że skupia się na sformułowaniu związków fizycznych, jednakże nawet jakościowe przewidywania modelu mogą się istotnie zmieniać w zależności od przyjętych parametrów. Nie mogąc z różnych względów wyznaczyć parametrów dla konkretnego materiału, warto przeprowadzić studia parametryczne a porównując różne sformułowania ze sobą zachować taką samą wartość parametrów, które są ekwiwalentne. Niestety w Rozdziale 5 Doktorant przyjmuje w większości rozważań jeden zestaw stosowanych parametrów materiałowych dla danego modelu. Jednocześnie parametry hipersprężystości są inne dla uogólnień ze zmienną skalarną i ze zmienną tensorową, co utrudnia wzajemne porównanie modeli. Dodatkowo podstawową cechą relacji z efektami lepkiemi jest wrażliwość na prędkość deformacji. Wypadałoby pokazać taką cechę proponowanych sformułowań, choćby analizując różne prędkości deformacji w testach quasi-statycznych.

W Rozdziale 6 przedstawiono implementację numeryczną zaproponowanych modeli ze skalarnym i tensorowym parametrem wewnętrznym w programie Abaqus przy wykorzystaniu procedur UMAT i UANISOHYPER. Ta część pracy rozpoczyna się od przedstawienia całkowego ujęcia zagadnienia początkowo-brzegowego oraz jego rozwiązania metodą elementów skończonych w programie Abaqus. W szczególności pokazano wyznaczenie odpowiednich dla proponowanych modeli tensorów sztywności stycznej oraz zlinearyzowane formy odpowiednich nieliniowych równań hipersprężystości i lepko-hipersprężystości. W kolejnych sekcjach tego rozdziału autor prezentuje podstawowe testy numeryczne wykonanej przez niego implementacji na pojedynczym elemencie skończonym, a następnie prezentuje wyniki uzyskane dla procesów o niejednorodnych polach mechanicznych dla siatek różnych elementów powłokowych i trójwymiarowych istniejących w programie Abaqus: ściskanie kuli poprzez kontakt z nieodkształcalną membraną, skręcanie prostopadłościanu oraz różne warianty inflacji powłoki. W przedstawionych analizach większość parametrów materiałowych pozostaje taka sama dla kolejnych zadań i wariantów elementów skończonych, z wyjątkiem stosunku modułu sztywności objętościowej K_0 do modułu ścinania μ_0 . Autor nie wyjaśnia czy ma to związek z problemami ze zbieżnością oraz poprawnością rozwiązania MES dla materiałów małościśliwych opisanymi w podsekcji 6.2.2.

Rozdział 7 zawiera krótkie podsumowanie głównych rezultatów rozprawy. Pewien niedosyt budzi brak odniesienia się w podsumowaniu do tezy rozprawy. Jak wspomniano nie jest ona kontrowersyjna i wymienione zasady konstruowania relacji konstytutywnych są raczej powszechnie uznawane. Mimo to w literaturze istnieją i są stosowane sformułowania, które nie spełniają powyższych postulatów lub spełniają je jedynie dla pewnego zakresu deformacji. Wydaje się, że rozprawa o tak skonstruowanej tezie, powinna dostarczyć dodatkowych argumentów na rzecz poprawnego formułowania relacji, pokazując na przykład niekorzystne konsekwencje niestosowania się do odpowiednich wymogów, co można byłoby uzyskać

porównując proponowany model z tymi istniejącymi niespełniającymi wybranych z trzech kryteriów.

3. Uwagi szczegółowe i edytorskie

Oprócz uwag ogólnych wspomnianych przy omówieniu treści rozprawy, w trakcie jej lektury nasuwają się następujące uwagi i wątpliwości szczegółowe oraz uwagi edytorskie.

Uwagi i wątpliwości szczegółowe:

1. Na stronie 25 przedstawiono dekompozycje (2.1.10) tensora gradientu deformacji wskazując, że będzie ona istotna dla opisu właściwości niesprężystych. Nie jest jednak jasne, gdzie w dalszej części rozprawy Doktorant wykorzystuje taką dekompozycję.
2. Na str 29-30 Doktorant wprowadza definicję tensorów sprzężonych, odwołując się również do odpowiedniej definicji miar sprzężonych w sensie Hilla ([https://doi.org/10.1016/0022-5096\(68\)90031-8](https://doi.org/10.1016/0022-5096(68)90031-8)). Należy zauważyć, że zgodnie z tą ostatnią definicją sprzężone są nie pary (miara naprężenia, pochodna materialna miary odkształcenia) ale odpowiednie pary (miara naprężenia, miara odkształcenia), gdzie obie miary zadane są na konfiguracji odniesienia. W wymienionych przypadkach byłyby to zatem (\mathbf{S}, \mathbf{F}) i (\mathbf{T}, \mathbf{E}) . Jeśli chodzi o pierwszą wymienioną przez Doktoranta parę to dla ogólnego przypadku nie podano miary odkształcenia sprzężonej w sensie Hilla z tensorem naprężenia Kirchhoffa.
3. W równaniu (2.5.1) jest błąd. Jeżeli q , to intensywność źródeł ciepła na jednostkę masy jak napisano poniżej tego wzoru, to druga całka po prawej stronie równania powinna być po objętości B a q należy przemnożyć przez gęstość (pierwsza całka zaś powinna być po brzegu B). Konsekwentnie, przez gęstość ρ należy również przemnożyć q w równaniach (2.5.2), (2.5.4)-(2.5.6). Dodatkowo, w definicjach (2.5.5) i (2.5.6) przed wyrazem zawierającym q powinien być znak minus.
4. Nie jest jasne czy równanie (2.6.7)₂ jest kolejnym założeniem czy wnioskiem z wcześniejszych rozważań (zerowanie się wielkości A przy zerowym przyroście parametru wewnętrznego α opisującego dyssypację).
5. Wprowadzając funkcję W w postaci (3.1.20) warto podać zależności między nowymi parametrami a tymi występującymi w definicji (3.1.18).
6. Na stronie 41 napisano, że tensor parametryczny \mathbf{M} powinien być dodatnio określony. Jednocześnie tensor parametryczny \mathbf{M} dla materiału transwersalnie izotropowego, zdefiniowany na str. 42 jako diada wersora \mathbf{m} , tego warunku nie spełnia – ma dwie wartości własne równe zero. Czy wobec tego takie wymaganie jest rzeczywiście konieczne?
7. Str. 57 Nie jest jasne czy \mathbf{T}_0 występujące we wzorze (5.1.4) jest wielkością niezależną czy wyznaczaną z modelu czysto hipersprężystego dla zadanego \mathbf{C}_0 w chwili $t=0+$.
8. Str. 58. Autor wspomina, że są inne możliwe rozwiązania zagadnienia pełzania przy przyjęciu innej postaci tensora \mathbf{C}^* ze względu na nieliniowość \mathbf{T} 'z daszkiem' względem tensorów deformacji. Jakie mogłyby być te inne postaci i czy nie są one ograniczone przez założenie izotropii materiału?

9. Str. 63 Nie jest jasne co Autor ma na myśli pisząc „Wartości te przyjęto w taki sposób, aby uzyskać mniej standardowe rozwiązania niż znane w literaturze dotyczące mechaniki uszkodzenia”.
10. Przekształcenia 6.3.15-6.3.18 są dla mnie niejasne. Czy przyjęto tu szczególną postać funkcji ϕ_1 i ϕ_2 , czy dotyczą one ogólnego sformułowania (4.2.1) z (4.2.4)?
11. Czy w pierwszym akapicie sekcji 6.4.1 chodzi o przykład czystego ścinania, czy też jednak prostego ścinania, jak sugeruje schemat zamieszczony na Rys. 6.4.2 b? Należy zauważyć, że te dwa procesy są istotnie różne, szczególnie gdy rozważane są skończone deformacje i materiał anizotropowy.
12. Sekcja 6.4.2., strona 89. Założona w teście numerycznym postać deformacji przy użyciu F i C nie jest poprawnie zapisana.
13. Str. 93. Na zakończenie sekcji 6.5.1 poświęconej deformacji kuli wspomniano, że „dekompozycja energii na część związaną ze zmianami objętości i postaci z jednoczesnym uwzględnieniem anizotropii materiału, może prowadzić do niefizycznych rezultatów np. rozciągana hydrostatycznie kula o transwersalnie izotropowym modelu materiału deformuje się w kulę.” Należy zauważyć, że takie zachowanie obserwuje się w zakresie małych odkształceń i liniowej sprężystości i mówimy wtedy o materiałach *objętościowo-izotropowych*. Być może takie zachowanie można rzeczywiście uznać za niefizyczne, w momencie gdy transwersalna izotropia materiału jest związana z występowaniem włókien zbrojenia, jednakże gdy jest na przykład konsekwencją symetrii sieci krystalograficznej zachowanie takie jest uprawnione. Czy z podobną sytuacją możemy mieć do czynienia w zakresie dużych deformacji i czy jest ona dozwolona w świetle wymagań stawianych formułowanym relacjom konstytutywnym?

Uwagi edytorskie:

- 1) W równaniu (2.6.6)₁ i (3.1.2) brakuje chyba mnożnika 2 przed pochodną cząstkową.
- 2) W równaniu (3.1.7) na niezmiennik I_2 brakuje argumentu przy tr^2
- 3) Str. 47 powinno być „... dotyczy części symetrycznej tensora L_i ”
- 4) Rys. 5.1.1-5.1.3: dla lepszej ilustracji właściwości modelu wyniki dla $TA=40$ i $TA=200$ warto byłoby przedstawić na jednym rysunku.
- 5) Czy w równaniu (5.1.12) zależności T_{oH} i T_{oD} od czasu pozostaje tak jak jest napisane?
- 6) Str. 61. Powinno być „Taki układ równań różniczkowo-algebraicznych ma tzw. indeks równy 0”. Zdanie „Tak sformułowane zadanie pełnia rozwiązujemy..” jest niejasne.
- 7) Str. 68 – we wzorze kończącym pierwszy akapit podsekcji 5.2.1 jest chyba konflikt oznaczeń jeśli chodzi o T_e .
- 8) W rys. 5.1.7 a), b), 5.1.8 a), 5.1.9, 5.1.13 a), 5.1.14 a), 5.2.1, 5.2.3b), 5.2.4 występują problemy graficzne lub edytorskie przy opisie osi rysunków.
- 9) Str. 76. Powinno być chyba „Dlatego lewą stronę równania (6.2.1) ...”
- 10) Str.6.5.5 Warunki brzegowe $u_1, u_1=0$ na jednym z końców prostopadłościanu są chyba podane z błędem edytorskim.

- 11) W Rysunkach 6.4.3 a, 6.4.4, 6.5.5b, 6.5.7a, 6.5.12, 6.5.16b, 6.5.17b i 6.5.18 występują problemy graficzne z opisem osi, w szczególności w Rys. 6.5.12 a i b zamieniono opis osi poziomej i pionowej.

4. Podsumowanie i wnioski końcowe

Wymienione powyżej uwagi ogólne i szczegółowe nie zmieniają mojej ogólnie pozytywnej oceny wartości naukowej przedstawionych rezultatów i samej rozprawy. Do istotnych osiągnięć Doktoranta zaliczam sformułowanie oryginalnych uogólnień relacji konstytutywnych hipersprężystości na opis własności lepkich przy spełnieniu trzech istotnych wymagań wymienionych w tezie pracy oraz implementację numeryczną proponowanych modeli w metodzie elementów skończonych, mogącą znaleźć zastosowanie przy projektowaniu konstrukcji inżynierskich. Stanowi ona oryginalny wkład Autora do zagadnień modelowania konstytutywnego materiałów lepko-hipersprężystych w zakresie skończonych deformacji. Przedstawione w rozprawie badania wymagały od Doktoranta poznania m.in. podstawowych założeń teorii hipersprężystości, elementów teorii reprezentacji funkcji tensorowych, jak również umiejętności tworzenia własnych procedur w programie Abaqus. W tym względzie Doktorant wykazał się zdolnością prowadzenia samodzielnych badań naukowych.

Uważam, że oceniana rozprawa doktorska spełnia w wystarczającym stopniu wymogi odpowiedniej Ustawy i może stanowić podstawę do nadania stopnia naukowego doktora nauk technicznych w dyscyplinie inżynieria lądowa, geodezja i transport. Wniosuję o dopuszczenie mgr. inż. Aleksandra Franusa do publicznej obrony rozprawy.

Katarzyna Kowaluk-Sojenska