

WPLYNĘŁO

Dnia: 13.11.2023  
L. Dr II PRZ. 618 / 2023

dr hab. inż. Jacek Szafran, prof. PŁ

Katedra Mechaniki Konstrukcji

Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska

Politechnika Łódzka, Al. Politechniki 6, 90-924 Łódź

email: [jacek.szafran@p.lodz.pl](mailto:jacek.szafran@p.lodz.pl)

*Rajstrem ds/11/2023*

DZIEKAN  
Wydziału Inżynierii Lądowej

prof. dr hab. inż. Andrzej Garbacz

Łódź, 02 listopada 2023 r.

## RECENZJA DYSERTACJI DOKTORSKIEJ

mgra inż. Andrzeja Piotrowskiego

### „WERYFIKACJA MODELI KONSTITUTYWNYCH SPRĘŻYSTO- PLASTYCZNOŚCI PRZY ZASTOSOWANU MES I OPTYCZNEJ KORELACJI OBRAZU”

#### 1. Podstawa formalna

Formalną podstawę opracowania recenzji stanowi pismo z dnia 19 czerwca 2023 roku Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Warszawskiej podpisane przez Przewodniczącego Rady Naukowej w/w Dyscypliny dra hab. inż. Konrada Lewczuka, prof. uczelni, który zwraca się z prośbą o przyjęcie przeze mnie obowiązków recenzenta rozprawy doktorskiej Pana **mgra inż. Andrzeja Piotrowskiego**.

Merytoryczną podstawę opracowania recenzji stanowi załączona do ww. pisma rozprawa doktorska Pana mgra inż. Andrzeja Piotrowskiego.

Prawną podstawę opracowania recenzji stanowią obowiązujące przepisy Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce i wymagania określone w art.187 tej Ustawy.

#### 2. Sylwetka doktoranta

**Mgr inż. Andrzej Piotrowski** ukończył studia I oraz II stopnia na kierunku Budownictwo w specjalności Konstrukcje Budowlane i Inżynierskie, na Wydziale Inżynierii Lądowej Politechniki Warszawskiej. Pracę magisterską obronił 11 grudnia 2013 roku. Z przesłanych dokumentów wynika, że nie ubiegał się do tej pory o nadanie stopnia doktora.

Mgr. inż. Andrzej Piotrowski od 15 lutego 2014 r. do dziś zatrudniony jest na stanowisku asystenta naukowo-dydaktycznego w Zakładzie Wytrzymałości Materiałów, Teorii Sprężystości i Plastyczności Politechniki Warszawskiej.

*[Signature]*

Dokonania publikacyjne Kandydata przedstawiają się w sposób następujący:

- trzy artykuły w czasopismach naukowych z listy Ministerialnej (*Construction and Building Materials, Materials, Archives of Civil Engineering*),
- jeden artykuł w czasopiśmie spoza listy Ministerialnej,
- dwie monografie: „Wytrzymałość materiałów. Ćwiczenia laboratoryjne”, skrypt i preskrypt, wydane przez Oficynę Wydawniczą Politechniki Warszawskiej (jako współautor),
- 15 rozdziałów w monografiach (w tym 4 w ramach międzynarodowej konferencji „*Lightweight Structures in Civil Engineering*”).

Powyższe zestawienie może być niepełne, lub niepoprawnie zinterpretowane, natomiast stanowi wyciąg z przesłanych przez Doktoranta dokumentów.

### 3. Zawartość dysertacji

Dysertacja doktorska mgr inż. Andrzeja Piotrowskiego pt. „*Weryfikacja modeli konstytutywnych sprężysto-plastyczności przy zastosowaniu MES i optycznej korelacji obrazu*” została napisana w języku polskim pod kierunkiem **prof. dr. hab. inż. Stanisława Jemiolo**, oraz pod kierunkiem promotora pomocniczego **dr. hab. inż. Marcina Gajewskiego, profesora uczelni**. Rozprawa składa się z sześciu rozdziałów, streszczenia (w języku polskim i angielskim), spisu literatury oraz załączników (A, B i C). Sama rozprawa zajmuje 242 strony. W pracy zacytowano łącznie 120 pozycji literaturowych, z czego 10 stanowi publikacje Doktoranta (1 praca autorska i 9 prac wieloautorskich), a 4 przedmiotowe normy do projektowania.

W **rozdziale pierwszym** („*Cel i zakres pracy*”) zasadniczą część stanowi skrócony opis poruszanych w dysertacji zagadnień oraz przeprowadzonych badań, a także przegląd literatury. Autor wyjaśnia czym jest optyczna korelacja obrazu oraz metoda elementów skończonych, a także porusza tematykę stosowania elementów cienkościennych w praktyce inżynierskiej, wskazując na ich zalety oraz trudności napotymane przy projektowaniu. Bardzo krótko (**w jednym zdaniu**) przedstawiony został cel pracy. W rozdziale tym zaprezentowano również układ Rozprawy.

W mojej ocenie układ rozdziału jest dość chaotyczny, nieuporządkowany, a cel pracy nie został przedstawiony w sposób wyczerpujący, czego można by się spodziewać po rozdziale o tymże tytule. Brakuje jasno sformułowanej tezy pracy, czy też pytań jakie Doktorant stawia, będących przyczynkiem do realizacji przedstawionych w Rozprawie badań.

**Rozdział drugi** („*Podstawowe pojęcia i równania teorii sprężysto-plastyczności metali*”) jest rozdziałem teoretycznym, podzielonym na następujące podrozdziały:

- *Uwagi wstępne* – poświęcono go w całości omówieniu znanych zagadnień sprężysto-plastyczności wraz z odniesieniami do pozycji literaturowych,
- *Założenia i relacje konstytutywne teorii sprężysto-plastyczności ze stowarzyszonym prawem płynięcia* – omówiono podstawowe założenia dotyczące

badani eksperymentalnych (podstawowych badań wytrzymałościowych – statycznej próby rozciągania), przywołano prawo Hooke’a, stowarzyszone prawo płynięcia oraz omówiono wzmocnienie izotropowe i kinematyczne w teorii plastyczności,

- *Klasyczna teoria sprężysto-plastyczności metali wstępnie izotropowych z anizotropią indukowaną przez odkształcenia plastyczne* – teoretyczne podstawy teorii sprężysto-plastyczności metali wstępnie izotropowych z anizotropią indukowaną przez odkształcenia plastyczne,
- *Teoria dużych deformacji* – przedstawiono ewolucję podejścia obliczeniowego teorii sprężysto-plastyczności odpowiedniego do stosowania w zadaniach, gdzie lokalne deformacje i obroty mogą przyjmować duże wartości; omówiono podejście obliczeniowe wykorzystywane przez program ABAQUS.

**Rozdział trzeci** („*Badania materiałowe*”) to opis aktywności, danych i wyników uzyskanych w trakcie różnego typu badań laboratoryjnych. W rozdziale tym Autor zawarł:

- opis stanowisk badawczych,
- opis próbek poddanych badaniom,
- opis oraz wyniki „*próby dokładnej rozciągania*” – przeprowadzono dwie serie badań: seria pierwsza, wstępna, obejmowała **trzy próbki** wycięte z jednego kształtownika, seria druga obejmowała **sześć próbek** wyciętych z trzech kształtowników (po 2 próbki na kształtownik); przeprowadzone zostały statyczne próby rozciągania z wykorzystaniem tensometru elektromechanicznego,
- opis oraz wyniki „*próby dokładnej rozciągania z zastosowaniem systemu optycznej korelacji obrazu*” – przeprowadzono dwie serie badań: seria pierwsza (w pracy określona jako seria 3) obejmowała **cztery próbki**, seria druga (w pracy określona jako seria 4) obejmowała **trzy próbki**, które dodatkowo poddano cyklicznemu, naprzemiennemu rozciąganiu i odciążaniu; przeprowadzone zostały statyczne próby rozciągania z wykorzystaniem systemu optycznej korelacji obrazu Aramis,
- szczegółowy opis procedur wyznaczania parametrów wytrzymałościowych,
- bardzo szczegółowy opis zaprezentowanych wykresów oraz map naprężeń (w mojej ocenie zbyt detaliczny, szczególnie porównując ten opis z bardzo lakonicznym wnioskiem: „*Powyższe obserwacje pozwalają wysnuć wniosek, że badany materiał nie spełnia założenia o jednorodności przyjmowanego przy projektowaniu konstrukcji stalowych*”), przy czym należy zwrócić uwagę, że informacje potrzebne do pełnego zrozumienia prezentowanych rozważań znajdują się w rozdziałach i podrozdziałach późniejszych, np. Rozdziale 5...,
- opracowanie wyników uzyskanych w próbach rozciągania – określenie parametrów wytrzymałościowych stali, które następnie będą wykorzystane w kolejnych krokach; Doktorant przeprowadza bardzo szeroką analizę statystyczną uzyskanych wyników



oraz w sposób bardzo szczegółowy opisuje procedury statystyczne używane do opracowania wyników. Czytając tą część pojawia się pytanie zasadnicze: jaki jest cel takich zabiegów oraz tych rozważań? W rozdziale brakuje podsumowania i jasnych, konkretnych wniosków płynących z przeprowadzonych w nim analiz, oraz tego w jaki sposób wpływają one na dalsze badania (znów, kilka stron rozważań podsumowano w jednym zdaniu: „Przeprowadzona analiza statystyczna potwierdza poprzednie przypuszczenia o dużym zróżnicowaniu właściwości badanego materiału”. W jaki sposób informacja ta została wykorzystana w dalszych badaniach?). Niejasne jest też dla mnie, które parametry wytrzymałościowe zostały ostatecznie przyjęte do dalszych analiz,

- wyniki badań twardości – wykonano osiemnaście pomiarów twardości: dziewięć metodą Brinella i dziewięć metodą Rockwella, na trzech próbkach przeznaczonych do prób rozciągania (z serii 4).

**Rozdział trzeci** kończy krótkie podsumowanie, w którym jednak próżno szukać wniosków innych niż obserwacje poczynione we wcześniej zamieszczonych rozważaniach.

**Rozdział czwarty** („Rozciąganie płaskownika z otworami”) podzielony został na dwie zasadnicze części:

- część pierwsza (**Podrozdział 4.1** „Badania doświadczalne”) – jest to opis statycznej próby rozciągania płaskownika z otworami, wraz z przedstawieniem wykresów przemieszczenia w funkcji siły (danych z maszyny wytrzymałościowej oraz z systemu Aramis) oraz map odkształceń z systemu Aramis,
- część druga (**Podrozdział 4.2** „Obliczenia MES wykonane w programie Abaqus/Standard”) – poświęcona została rozważaniom numerycznym odpowiadającym przeprowadzonym w Podrozdziale 4.1 badaniom doświadczalnym; w programie Abaqus przeprowadzono symulację statycznej próby rozciągania perforowanego płaskownika, przedstawiono rezultaty w postaci wykresów przemieszczenia w funkcji siły oraz map odkształceń. Analizę przeprowadzono dla teorii małych i dużych odkształceń. Przyjęte do analizy założenia budzą pewne wątpliwości, treść kilku z tych założeń brzmi następująco:

- „Założono izotropowość materiału i przyjęto model sprężysto-plastyczny oraz prawo płynięcia stowarzyszone z warunkiem plastyczności Hubera-Misesa. W zakresie sprężystym przyjęto liniową charakterystykę materiału, moduł Younga  $E = 230 \text{ GPa}$  i liczbę Poissona  $\nu = 0,3$ .”

- „Brak zerwania wynika wprost z przyjęcia założenia o jego niemodelowaniu i przyjęciu do obliczeń materiału nieskończenie ciągliwego”

- „Odmienna maksymalna wartość siły i nieco inny przebieg wykresów w zakresie plastycznym wynikają z odmiennych niż założone właściwości materiału.”

Do zapisów tych odniosę się w dalszej części niniejszej recenzji.

**Rozdział czwarty** nie kończy się częścią podsumowującą z wyszczególnieniem wyciągniętych z przeprowadzonych badań **wniosków**. Brakuje tu również wprowadzenia, wyjaśniającego **cel** przeprowadzonych testów, który jest dla mnie niejasny.

**Rozdział piąty** („*Ściskanie perforowanych prętów cienkościennych o bardzo małej smukłości*”) został w całości poświęcony rozważaniom dotyczącym schematów zniszczenia oraz siły krytycznej w zależności od długości elementów cienkościennych perforowanych typu  $\Omega$ , które wykorzystywane są w systemach regałów wysokiego składowania. Ta część pracy podzielona została na trzy główne części:

- część pierwsza (**Podrozdział 5.1.** „*Badania laboratoryjne*”) stanowi opis badań laboratoryjnych 106 próbek o różnych długościach (5 cm, 10 cm, 15 cm, 20 cm, 25 cm, 30 cm, 40 cm i 50 cm), które zostały poddane ścisnaniu w maszynie wytrzymałościowej. W badaniach zastosowano dwa sposoby mocowania próbek: poprzez sztywne zamocowanie płyt dociskowych (63 próby) oraz zamocowanie jednej z płyt za pośrednictwem przegubu kulistego (43 próby). Obserwowano siłę ścisnącą, przemieszczenie głowicy maszyny wytrzymałościowej oraz rejestrowane przy pomocy systemu optycznej korelacji obrazu Aramis przemieszczenia punktów na powierzchni wybranych próbek,
- w części drugiej (**Podrozdział 5.2.** „*Obliczenia analityczne wg teorii prętów cienkościennych*”) Doktorant przeprowadza obliczenia analityczne wg teorii prętów cienkościennych, których celem jest: „...znalezienie zależności siły krytycznej od długości dla opisanych w podrozdziale 5.1 cienkościennych prętów perforowanych”. Założenia, które zostały przyjęte do analiz w skrócie przedstawiają się następująco:
  - w zakresie sprężystym zastosowano teorię prętów cienkościennych Własowa,
  - w zakresie niesprężystym przyjęto dwa alternatywne paraboliczne przebiegi funkcji: pierwszy – od granicy plastyczności przy smukłości zerowej do granicy proporcjonalności przy smukłości granicznej i drugi – od granicy plastyczności przy smukłości zerowej do punktu, w którym parabola gładko przechodzi w krzywą otrzymaną dla wyboczenia sprężystego,
  - założono jednorodność i izotropowość materiału oraz model sprężysto-plastyczny z idealnie liniową zależnością między naprężeniem a odkształceniem w zakresie sprężystym,
  - przyjęto stałe materiałowe uśrednione dla pierwszej serii próbek z próby statycznego rozciągania: moduł Younga  $E = 230$  GPa, stała Poissona  $\nu = 0,3$ , granica proporcjonalności  $R_H = 382,2$  MPa i granica plastyczności  $R_{pl} = 453,5$  MPa,

- pręt perforowany został zastąpiony prętem o stałym, lokalnie pocienionym przekroju,
- w celu uproszczenia obliczeń obliczono charakterystyki geometryczne dla przekroju bez zaokrążeń naroży, po czym przemnożono je przez odpowiednie współczynniki,
- część trzecia (**Podrozdział 5.3.** „*Obliczenia MES wykonane w programie Abaqus*”) zawiera w swej treści:
  - opis przeprowadzonej analizy numerycznej wraz z przyjętymi założeniami (przeprowadzono symulację numeryczną testów ściskania opisanych w części pierwszej),
  - analizę modelu sprężystego (przedstawione tu badania i ich rezultaty nie są autorstwa Doktoranta),
  - analizę modelu sprężysto-plastycznego wg teorii małych deformacji przy pełnym utwierdzeniu końców i braku imperfekcji,
  - analizę modelu sprężysto-plastycznego wg teorii małych deformacji przy pełnym utwierdzeniu końców i narzuconych imperfekcjach przechyłowych,
  - analizę modelu sprężysto-plastycznego wg teorii dużych deformacji przy pełnym utwierdzeniu końców i braku narzuconych imperfekcji,
  - analizę modelu sprężysto-plastycznego wg teorii dużych deformacji przy przegubowym zamocowaniu końców i braku narzuconych imperfekcji,
  - analizę modelu sprężysto-plastycznego wg teorii dużych deformacji przy pełnym utwierdzeniu końców i narzuconych imperfekcjach,
  - analizę wpływu materiału przy zastosowaniu modelu sprężysto-plastycznego wg teorii dużych deformacji przy pełnym utwierdzeniu końców i braku imperfekcji.

Podobnie jak w Rozdziałach poprzednich, brakuje tu wskazania **powodów** zainteresowania Doktoranta opisanymi badaniami i analizami oraz pytań, na jakie analizy te mają odpowiedzieć, a także podsumowania i **zbiorczych, syntetycznych wniosków**. Zastanawiający jest fakt przyjęcia przez Doktoranta następującego założenia: „*Założono jednorodność i izotropowość materiału oraz model sprężysto-plastyczny z idealnie liniową zależnością między naprężeniem a odkształceniem w zakresie sprężystym.*” w świetle głównego wniosku płynącego z Rozdziału 3, a mianowicie: „*Powyższe obserwacje pozwalają wysnuć wniosek, że badany materiał nie spełnia założenia o jednorodności przyjmowanego przy projektowaniu konstrukcji stalowych*” oraz „*Przeprowadzona analiza statystyczna potwierdza poprzednie przypuszczenia o dużym zróżnicowaniu właściwości badanego materiału.*”. Wniosek, że badany materiał jest niejednorodny a parametry materiałowe zróżnicowane wydaje się być w świetle powyższego istotny, dlatego też niezrozumiałe jest dla mnie dlaczego Autor analizując wpływ materiału w Podrozdziale 5.3.8 nie prezentuje syntetycznego, tabelarycznego zestawienia różnic w nośności elementów ani chociażby procentowej różnicy tej nośności

pomiędzy skrajnymi wartościami parametrów. Wydaje się to być kluczowe w określeniu jaki wpływ różnorodność materiału ma na zasadniczy parametr projektowy – nośność elementów konstrukcyjnych. W mojej opinii wartościowe i interesujące byłoby również porównanie (w formie graficznej) rezultatów otrzymanych z podejścia analitycznego oraz uzyskanych z testów laboratoryjnych, których tu nie znalazłem.

**Rozdział szósty** zawiera obszerne podsumowanie całej dysertacji wraz z ponownym omówieniem rezultatów przeprowadzonych analiz, a także propozycjami dalszych badań. W mojej ocenie brak jest tu całościowych wniosków płynących z pracy (wnioski są w istocie omówieniem wyników, które w części bądź całości znalazło się w poszczególnych rozdziałach). Nie wskazano wprost jaki jest wkład własny Doktoranta w rozpoznanie tematów poruszanych w rozprawie.

Streszczając należy wspomnieć, że rozprawa napisana jest raczej w sposób utrudniający czytanie, jak i podążanie za tokiem myślowym Autora. Układ rozdziałów i podrozdziałów nie zawsze jest jasny, a ich treść (przede wszystkim brak wprowadzenia w temat, brak jasno określonego celu do którego Autor dąży i motywacji podjętych badań) utrudnia śledzenie procesu analizy, dedukcji i syntezy. Szczegółowe uwagi dotyczące powyższych zastrzeżeń zamieszczono w punkcie 4 niniejszej recenzji.

#### **4. Ocena doboru tematu i naukowej wartości rozprawy**

W recenzowanej rozprawie doktorskiej podjęto w moim przekonaniu raczej istotne zagadnienie weryfikacji modeli sprężysto-plastyczności w ujęciu eksperymentalnym, obliczeń analitycznych oraz analiz numerycznych. Szczególnie, że przedmiotem badań były elementy stalowe – perforowane pręty cienkościenne i pochodzące z nich próbki do laboratoryjnych badań rozciągania. Autor w swych badaniach wykazał się szeroką wiedzą w zakresie prowadzenia laboratoryjnych prac badawczych (w tym wykorzystanie systemu cyfrowej korelacji obrazu Aramis), teorii wytrzymałościowych w zakresie modeli sprężysto-plastycznych (małe i duże odkształcenia), znajomości obliczeń analitycznych w ramach teorii wytrzymałości materiałów i prętów cienkościennych, a także dużej wiedzy na temat modelowania komputerowego w ramach teorii Metody Elementów Skończonych. Można zatem stwierdzić, że Doktorant w swej dysertacji zaprezentował bardzo szerokie spektrum umiejętności i wiedzy. Świadczy to niewątpliwie o dobrym przygotowaniu Doktoranta do dalszych prac badawczych.

**Zupełnie innym aspektem przedstawionej do recenzji rozprawy jest sposób i styl prezentacji uzyskanych przez Autora wyników, stawiania tez, zadawania sobie odpowiednich i dobrze uzasadnionych pytań, i próba odpowiedzi na nie.**

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska jest dziełem wielowątkowym, bardzo szczegółowo, detalicznie opisanym (całkowita ilość stron przekracza czterysta...). Można zatem stwierdzić, że nakład pracy wykonanej przez Kandydata był bardzo duży. To oczywiście



może być jedynie zaletą działalności naukowej Kandydata. Nadmienić wypada, że Doktorant zajmował się przedstawionym tematem od roku 2014, zatem 9 lat.

Po analizie rozprawy uważam, że do głównych osiągnięć naukowych Autora rozprawy można zaliczyć między innymi następujące dokonania:

- przeprowadzenie laboratoryjnych badań eksperymentalnych dotyczących badań materiałowych pojedynczych próbek poddanych rozciąganiu (próbki pełne i perforowane) oraz prób ściskania perforowanych prętów cienkościennych o małej smukłości wraz z niezwykle detaliczną analizą uzyskanych wyników,
- wykonanie złożonych obliczeń analitycznych dotyczących określenia wartości siły krytycznej w zależności od długości cienkościennych prętów perforowanych w zakresie sprężystym oraz niesprężystym; dodatkowo całość uzupełniono (co w moim przekonaniu jest szczególnie cenne) obliczeniami normowymi wraz z modyfikacjami własnymi, bądź pochodzącymi ze źródeł literaturowych oraz wykonano w pewnym zakresie krytycznej interpretacji uzyskanych wyników,
- wykonanie analiz numerycznych MES (system Abaqus) i wyciągnięcie pewnych wniosków poznawczych dotyczących: obliczeń wg teorii powłok w ramach teorii sprężysto-plastyczności małych i dużych deformacji z liniową sprężystością i prawem płynięcia stowarzyszonym z warunkiem plastyczności Hubera-Misesa (do obliczeń przyjęto ponadto różne modele materiałowe w zakresie plastycznym, warunków brzegowych oraz imperfekcji geometrycznych),
- dokonanie porównania wyników doświadczalnych (uzyskanych poprzez system Aramis) w wynikami obliczeniowymi i udowodnienie, że dają one dobrą i wystarczającą zgodność jakościową, a także wskazanie, że wyniki porównań ilościowych są mniej jednoznaczne wraz z opisem powodów takiego stanu rzeczy,
- udowodnienie, że w przypadku analizowanych zagadnień teoria sprężysto-plastyczności małych odkształceń jest niewystraszająca do modelowania przypadków, w których występują duże obroty (np. zjawisko wyboczenia prętów perforowanych) i wskazanie na potrzebę wykorzystania dla tych okoliczności teorii sprężysto-plastyczności dużych odkształceń.

Należy również nadmienić w tym miejscu, że bardzo wysoko oceniam nakład pracy, a także ilość czasu, który Doktorant poświęcił by przeprowadzić tak liczną grupę badań, obliczeń i analiz.

## 5. Uwagi krytyczne

Przedstawione poniżej uwagi krytyczne (zarówno te ogólne, jak i szczegółowe), oraz ich mnogość wynikają z mojego przekonania, że tak szczegółowa analiza pracy w tym przypadku była potrzebna. Doktorant przedstawił do oceny dzieło niezwykle złożone i obszerne. Uwagi poniższe wynikają przede wszystkim z szacunku do wykonanej przez Autora pracy, ale także z



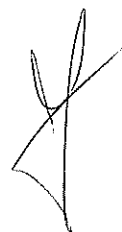
chęci pomocy w rozwoju Jego umiejętności, oraz poprawy jakości Jego przyszłych prac badawczych.

Zatem, podczas lektury i analizy wyników przedstawionych w recenzowanej rozprawie doktorskiej nasunęły się mi następujące pytania i uwagi krytyczne (przedstawiono poniżej).

### 5.1. Ogólne uwagi merytoryczne

- 1) Moja pierwsza uwaga ogólna jest w zasadzie odczuciem i tak też proszę ją traktować. Autor opisuje wyniki swoich badań w sposób niezwykle szczegółowy, detaliczny. To samo dotyczy prac przygotowawczych lub zasadniczych prac laboratoryjnych. Zapewne należy uznać to za zaletę opracowania. Jednakże w moim przekonaniu w rozprawie brak jest części syntetycznych podsumowujących poszczególne rozdziały lub podrozdziały (w niektórych miejscach rozprawy odnosiłem wrażenie, że **Autor umieszcza ogromną ilość informacji, ale wręcz unika** ich konkretnej interpretacji oraz wyciągnięcia wniosków; tego niestety za zaletę uznać już nie mogę). Jednym z bardziej jaskrawych tego rodzaju przypadków jest Rozdział 3 gdzie Autor opisuje szczegóły badań i wyniki na kilkudziesięciu stronach, natomiast podsumowanie i wnioski zawiera **w czterech zdaniach**.

Z racji tego, że rozprawa doktorska dotyczy dyscypliny nauk inżyniersko-technicznych to w mojej opinii powinna mieć również pewien „szlif” inżynierski tzn. jednoznaczne określenie tego co Autor uważa za najważniejsze wśród swoich wyników i osiągnięć, jakie wyniki badań z części wcześniejszych zamierza wykorzystać w częściach późniejszych, jednoznacznie zaprezentowanie założeń, a później wyników etc. To nie tylko ułatwia czytającemu analizę rozprawy ale także pokazuje, że Autor jest w stanie wyraźnie określić to co swych badaniach uznaje za najważniejsze. Podobna sytuacja ma miejsce w ostatnim Rozdziale 6 gdzie na ośmiu stronach Doktorant prezentuje podsumowanie swojej działalności badawczej w ramach rozprawy, natomiast samych konkretnych wniosków jest tam niezmiernie mało. Większość tego tekstu to powtórzenie tego co Autor prezentował wcześniej w innych rozdziałach dysertacji. Poza tym, że taka prezentacja swoich osiągnięć jest trudna do czytania to pozostawia jeszcze dodatkowe, niekorzystne wrażenie, że Kandydat nie do końca jest przekonany o tym co w Jego pracy jest najważniejsze, które z osiągnięć uważa za najbardziej przydatne w kontekście rozwoju dyscypliny, którą reprezentuje i pozostawia tą część do interpretacji czytającemu. Jak wspomniałem na wstępie, jest to raczej moja opinia a nie uwaga na wskroś krytyczna. Wychodzę po prostu z założenia, że inżynierska prezentacja wyników swoich prac to też jest ważna umiejętność i nie należy raczej pozostawiać jej w formie „wydruku rezultatów” ale wzbogacić o swoje opinie i osądy, szczególnie gdy tak wiele wysiłku poświęciło się na przygotowanie samych badań.



- 2) W moim przekonaniu w procesie analizy i recenzji rozpraw doktorskich szczególnie interesujące, ale też zapewne ważne, jest dowiedzenie się jaka była **geneza pracy, jaki konkretny cel przyświecał Autorowi, że zajął się właśnie tym, a nie innym tematem.** Tego szukałem również w przedstawionej do oceny rozprawie.

W Rozdziale 1 zatytułowanym „Cel i zakres rozprawy” zapisano, że „... *celem rozprawy jest weryfikacja modeli sprężysto-plastyczności przy użyciu metody elementów skończonych i optycznej korelacji obrazu oraz sprawdzenie przydatności wymienionych narzędzi do wskazanego celu...*” oraz, że „...*jako przykłady do weryfikacji wykorzystano zadania rozciągania perforowanych płaskowników oraz ściskania krótkich odcinków perforowanych profili cienkościennych o przekroju otwartym...*”. Następnie w tym Rozdziale następuje prezentacja stanu wiedzy na temat: systemu Aramis, metody elementów skończonych, zagadnień stateczności prętów cienkościennych oraz podano informację na temat układu rozprawy. Zatem zacytowane powyżej zdania są **jedynymi**, które traktują o celu rozprawy.

Sądzę, że tak bardzo złożona i detalicznie udokumentowana rozprawa doktorska w dziedzinie nauk inżyniersko-technicznych na celu zapewne miała rozszerzenie obecnego stanu wiedzy, natomiast w samym tekście trudno mi znaleźć odpowiedź na następujące pytania w tym kontekście, a mianowicie:

- dlaczego Kandydat zajął się właśnie tym tematem?
- czy głównym celem była weryfikacja modeli sprężysto-plastyczności i czy tym samym do tej pory były one w opinii Autora niewystarczająco zweryfikowane?
- dlaczego Autor by osiągnąć cel opisany powyżej użył akurat fragmentów elementów stalowych będących częścią systemów wysokiego składowania?
- czy chodziło właśnie o wzbogacenie stanu wiedzy na temat projektowania i użytkowania tych konkretnych elementów i układów konstrukcyjnych?
- czy celem pracy było rozszerzenie wiedzy praktycznej (j.w.), rozszerzenie i wskazanie na możliwości i ograniczenia modelowania komputerowego takich elementów, rozszerzenie wiedzy teoretycznej, czy też być może jeszcze coś innego o czym w pracy Autor nie wspomina?

Te pytania, choć w swym brzmieniu być może banalne, są o tyle istotne, że pozwalają uzyskać pełniejszy obraz powstawania i zasadności rozprawy doktorskiej Kandydata.

- 3) W praktyce inżynierskiej, szczególnie w przypadkach oceny nośności stalowych konstrukcji istniejących w celu ustalenia własności mechanicznych materiału z reguły dokonuje się takich samych badań jakie Doktorant wykonał i opisał następnie w Rozdziale 3, czyli statycznej próby rozciągania wcześniej przygotowanych próbek. Dość istotne w takich przypadkach są wtedy miejsca, z których dokonuje się wycięcia elementów, ich ilość, a także kierunek wycięcia próbek względem kierunku walcowania elementu stalowego. To ważne o tyle, że szczególnie przy elementach stalowych cienkościennych, cząstki materiału układają się w tzw. strukturę pasmową i badanie

prostopadłe do w/w może prowadzić do niejednoznaczności, szczególnie jeśli chodzi o moduł Younga. Poza tym uzyskane w ten sposób wyniki służą **jedynie do ustalenia nominalnego gatunku zastosowanej stali** (takiej próby i dyskusji Autor w swej pracy w ogóle nie podjął) i jej normowych cech mechanicznych.

Sądzę, że w świetle uzyskanych w pracy wyników parametrów mechanicznych ciekawą byłaby dyskusja wyników w kontekście ich zastosowania praktycznego tzn. sprawdzenia jak dalece inne byłyby wyniki np. obliczeń normowych przy zachowaniu w/w zasad. Nadmienię jedynie, że w praktyce rzadkie są przypadki, w których dąży się do szczegółowego przeprowadzenia oceny gatunku stali i wartości parametrów mechanicznych, z reguły dlatego, że wtedy liczba niezbędnych do zbadania elementów jest już znacząca co przy trudnościach z wycinaniem próbek z istniejącej konstrukcji jest dość istotną trudnością.

## 5.2. Szczegółowe uwagi merytoryczne

Poniżej podano szczegółowe uwagi i spostrzeżenia przypisane do poszczególnych rozdziałów rozprawy doktorskiej. Uwagi podane są wprost do poszczególnych zapisów rozprawy.

### Rozdział pierwszy „Cel i zakres pracy”

- W mojej ocenie tytuł rozdziału jest nieadekwatny – cel pracy został określony w jednym zdaniu (według mnie niejasno), a sam rozdział jest raczej przeglądem literatury oraz opisem poruszonych w pracy zagadnień. Poszczególne akapity nie stanowią spójnego ciągu myślowego, w opis zakresu i układu pracy wpleciono definicje metody elementów skończonych czy optycznej korelacji obrazu, wraz z instrukcją jej stosowania.
- W moim przekonaniu brak jest jasno sformułowanego problemu badawczego oraz tezy głównej pracy, jak również tez czy też hipotez szczegółowych (w formie twierdzeń bądź pytań, które Doktorant stawia, a których udowodnienie powinno stanowić cel dysertacji).
- Autor uzasadniając potrzebę prowadzenie badań dotyczących elementów cienkościennych pisze: „*O ile zagadnienia stateczności są już obecnie dość dobrze opracowane w przypadku prętów o dużych smukłościach (...), w których dominuje globalne wyboczenie sprężyste, dalszych badań wymagają pręty krótsze, w przypadku których konieczne jest uwzględnianie zjawisk plastycznych oraz wyboczenia lokalnego i dystorsyjnego; z uwagi na powszechność stosowania, np. w systemach regałów wysokiego składowania, dużego znaczenia nabrało również uwzględnianie perforacji...*”. Czytając tą część pracy nurtowało mnie następujące pytanie: gdzie i w jakich powszechnie stosowanych konstrukcjach, np. gdzie w przywołanych systemach regałów wysokiego składowania znajdują się elementy na tyle krótkie, że

decydująca o ich nośności nie jest nośność wyboczeniowa (globalna) a uplastycznienie przekroju bądź wyboczenie lokalne?

### Rozdział trzeci „Badania materiałowe”

- W Podrozdziale 3.1. Autor podaje cel przeprowadzenia badań materiałowych: „*Badania materiałowe przeprowadzono w celu określenia właściwości stali, z której wykonane są elementy omawiane w rozdziałach 4 i 5.*” Czy aby określić właściwości stali zasadne jest przeprowadzanie prób rozciągania z zastosowaniem systemu optycznej korelacji obrazu oraz dodatkowo prób cyklicznego rozciągania i odciążania, z tak szczegółową analizą statystyczną? Czy wykonanie prób statycznego rozciągania na miarodajnej liczbie próbek nie jest do tego celu wystarczające? Czy być może tutaj Autorowi przyświecał inny cel, o którym w rozprawie nie wspomniał?
- W ocenie wizualnej próbek poddanych badaniom Autor pisze: „*(...) Obserwacje te mogą świadczyć zarówno o zmiennych właściwościach stali jak i o niskiej jakości cynkowej powłoki ochronnej.*” Proszę o wyjaśnienie jak należy rozumieć „*zmiennie właściwości stali*”, w jakim zakresie są one zmienne?
- W ocenie wizualnej próbek, Autor pisze: „*Badany materiał charakteryzuje się niejednorodną barwą. Niektóre z przechowywanych przez kilka lat w warunkach atmosferycznych elementów zaczęły punktowo rdzewieć. Obserwacje te mogą świadczyć zarówno o zmiennych właściwościach stali jak i o niskiej jakości cynkowej powłoki ochronnej. Dodatkowo należy zauważyć, że część elementów nosi ślady uszkodzeń mechanicznych.*” Dlaczego zatem badaniom poddano próbki uszkodzone i skorodowane? Jakim był tego cel oraz czy przyjęcie do badań tego rodzaju próbek nie wpływało na wyniki i nie utrudniało ich interpretacji? Jeśli tak, czy Autor jest w stanie określić jaki to był wpływ i w jaki sposób został uwzględniony w wynikach?
- W tablicach 3.2.1 oraz 3.2.2 Doktorant prezentuje m. in. wartości modułu Younga dla próbek serii 1 i 2. Średni moduł Younga dla próbek pierwszej serii obliczany metodą „moduł-E” wynosi  $E=230$  GPa, natomiast dla próbek drugiej serii  $E=177$  GPa, a zatem różnica jest dość znaczna. Czy tak duże różnice w wynikach nie wzbudziły wątpliwości Doktoranta co do prawidłowości przeprowadzonych testów? Jaki jest powód takiej różnicy?
- Autor przytacza dwie metody którymi obliczał Moduł Younga: procedurę „moduł-E” oraz „moduł automatyczny Younga”, przy czym opisuje je w następujący sposób: „*Są to procedury dedykowane do obliczania modułu sprężystości podłużnej metali. Zgodnie z instrukcją obsługi programu [9] pierwsza z nich oblicza wartość modułu bazując na normach EN10002 oraz ASTM E8, bliżej niesprecyzowaną metodą odrzucając nieliniowe fragmenty na początku i końcu wykresu, natomiast druga wybiera dane od dwóch do stu procent maksymalnego obciążenia, dzieli ten przedział na sześć równych części i wykreśla styczną do wykresu w tym przedziale, w którym jest to możliwe;*

*instrukcja nie wyjaśnia przy tym, jak dokładnie wyznaczana jest ta styczna, co właściwie oznacza „możliwość wykreślenia”, ani co dzieje się w przypadku, gdy istnieje możliwość wyznaczenia modułu w więcej niż jednym przedziale.”* Czy to oznacza, że Autor wykorzystuje w pracy wyniki obliczeń, co do których nie ma pewności w jaki sposób zostały uzyskane?

- Przy próbkach z serii pierwszej i drugiej autor określa z ilu elementów zostały wycięte, sugerując tym samym, że ma to znaczenie przy interpretacji wyników. Nie znalazłem tych informacji przy próbkach serii 3 i 4 (podrozdział 3.2.2), czy w tym przypadku nie ma to znaczenia?
- Autor odnosząc się do zastosowanej metody optycznej korelacji obrazu pisze: *„Prawdziwa siła metody polega na możliwości obserwacji przemieszczeń, obrotów i odkształceń na całej powierzchni próbki.”* Proszę o wskazanie do czego w praktyce wykorzystywane są te informacje oraz jak Autor wykorzystał je w obliczeniach analitycznych oraz symulacjach numerycznych?
- Omawiając wyniki statycznych prób rozciągania Autor pisze (s. 50): *„Zaobserwować można zatem, że przebiegi wykresów utworzonych dla pierwszej próbki są bardzo zróżnicowane (a nawet, że niektóre odcinki ulegały początkowo ścisnaniu) i dotyczy to nie tylko baz o różnych długościach lub przesuniętych względem siebie wzdłuż osi próbki, (...)”*. Z czego wynika zaobserwowane ścisnienie?
- Na stronie 58 Autor pisze: *„Otrzymane wyniki można zinterpretować jako potwierdzenie wniosków z analizy wykresów rozciągania – właściwości materiału mogą różnić się nawet w obrębie jednej próbki, przy czym w niektórych próbkach zjawisko to jest bardziej nasilone niż w innych (...)”*. Czy różnice właściwości materiałowych mogą wynikać z poziomu degradacji poszczególnych próbek? Jeśli tak, dlaczego nie wykonano badań dla próbek nowych, nieuszkodzonych i nie objętych korozją? Czy wyniki nie byłyby bardziej miarodajne, bądź też pozwalające na szersze rozpoznanie tych różnic?
- W zdaniu podsumowującym Podrozdział 3.2.2 (s. 76) oraz Podrozdział 3.2.4 (s. 97) Doktorant pisze: *„Powyższe obserwacje pozwalają wysnuć wniosek, że badany materiał nie spełnia założenia o jednorodności przyjmowanego przy projektowaniu konstrukcji stalowych.”* oraz *„Przeprowadzona analiza statystyczna potwierdza poprzednie przypuszczenia o dużym zróżnicowaniu właściwości badanego materiału”*. Jak duży błąd popełniamy zatem przyjmując przy projektowaniu/obliczaniu konstrukcji stalowych materiał jednorodny? Czy istotny dla projektowanej konstrukcji? Jaka jest propozycja Autora na modyfikację takiego podejścia obliczeniowego oraz jak Autor uwzględnił tę niejednorodność w dalszych analizach? Czy nowoczesne technologie wytwarzania stali nie minimalizują wpływu niejednorodności materiału?

- Na zakończenie Podrozdziału 3.2.3 (s. 89) Autor pisze: „Z uwagi na niewielką liczbę próbek nie sposób stwierdzić, czy zauważone podobieństwa (występowanie prawej i lewej strefy uplastycznionej oraz zerwanie z prawej strony) są dziełem przypadku, czy wynikają z warunków prowadzenia badania lub właściwości materiału, (...)”. Na podstawie powyższego nasuwa się zatem pytanie, dlaczego nie zbadano większej liczby próbek?
- W podrozdziale 3.3. „Badania twardości” autor stwierdza, że: „Badana stal jest zaskakująco miękka, uzyskane wartości bliższe są uzyskiwanym dla stopów aluminium. Niezbyt pasują również do wartości wyznaczonych granic plastyczności i wytrzymałości przedstawionych w tablicy 3.3.1 (por. podrozdział 3.2). Wynika to zapewne z faktu, że badano stal ocynkowaną – należy tutaj przypomnieć, że zastosowane metody pomiaru twardości mają charakter powierzchniowy” oraz „Ze względu na brak możliwości usunięcia powłoki cynkowej i wątpliwości co do sprawności technicznej posiadanych twardościomierzy badań nie kontynuowano. Przedstawione wyniki nie potwierdzają niejednorodnego charakteru materiału, jednak z uwagi na bardzo mały zakres badania nie można również stwierdzić, że go wykluczają”. Proszę zatem o wyjaśnienie, dlaczego Autor mając wątpliwości co do sprawności urządzeń pomiarowych, a także mając świadomość, że zakres badania jest zbyt mały oraz że powierzchnia próbek nie została odpowiednio przygotowana do wykonania tego rodzaju badań, a zatem jak rozumiem mając świadomość, że wykonane badania nie wnoszą do dysertacji wartości merytorycznej, zamieszcza je w Rozprawie?

#### Rozdział czwarty „Rozciąganie płaskownika z otworami”

- Rozpoczynając podrozdział 4.2.1 Doktorant pisze: „Analizowany płaskownik perforowany wykonany jest ze stali opisanej w rozdziale 3. Ponieważ wykazuje się ona dużą zmiennością parametrów, nie było możliwe dokładne określenie właściwości materiałowych przebadanej próbki, opisanej w podrozdziale 4.1. Założono izotropowość materiału i przyjęto model sprężysto-plastyczny oraz prawo płynięcia stowarzyszone z warunkiem plastyczności Hubera-Misesa. W zakresie sprężystym przyjęto liniową charakterystykę materiału, moduł Younga  $E = 230 \text{ GPa}$  i liczbę Poissona  $\nu = 0,3$ . W zakresie plastycznym przyjęto wzmocnienie izotropowe, granicę plastyczności  $R_{pl} = 455 \text{ MPa}$  (...)”. Proszę o wyjaśnienie jak powyższe ma się do wcześniejszego stwierdzenia: „Badania materiałowe przeprowadzono w celu określenia właściwości stali, z której wykonane są elementy omawiane w rozdziałach 4 i 5.”, przeprowadzonych obszernych analiz statystycznych wyników otrzymanych z prób rozciągania oraz do wniosków płynących z Rozdziału 3, przywoływanych już wcześniej: „Powyższe obserwacje pozwalają wysnuć wniosek, że badany materiał nie spełnia założenia o jednorodności przyjmowanego przy projektowaniu konstrukcji stalowych.” oraz „Przeprowadzona analiza statystyczna potwierdza poprzednie



*przypuszczenia o dużym zróżnicowaniu właściwości badanego materiału*". W jakim celu przeprowadzono statyczne próby rozciągania oraz tak obszerną i szczegółową ich analizę, skoro nie zostały wykorzystane w dalszej analizie? Na jakiej podstawie, jeśli nie z przeprowadzonych badań parametrów wytrzymałościowych, zostały przyjęte wymienione wyżej parametry i dlaczego?

- Autor odwołuje się w Rozprawie do pojęć, których znaczenia nie wyjaśnia, np.: *„Do modelowania obszaru zastosowano elementy płaskiego stanu naprężenia CPS4R i CPS3. CPS4R są to elementy czworokątne o dwuliniowej funkcji kształtu, zredukowanym całkowaniu i „hourglass control”, a CPS3 to elementy trójkątne o liniowej funkcji kształtu”, „Wykorzystano moduł Abaqus/Standard i ogólny algorytm statyczny bez stabilizacji”*. W mojej ocenie zastosowane algorytmy powinny zostać objaśnione, nie należy z góry zakładać, że każdy jest zaznajomiony z nazewnictwem algorytmów stosowanych w konkretnym programie obliczeniowym.
- Opisując wyniki badań Autor tłumaczy niezgodność analizy MES z badaniami laboratoryjnymi dotyczącą braku zerwania próbki w analizie MES w następujący sposób: *„Brak zerwania wynika wprost z przyjęcia założenia o jego niemodelowaniu i przyjęciu do obliczeń materiału nieskończenie ciągłego. Z tego powodu po pojawieniu się przewężenia i spowodowanego nim spadku siły krzywe obliczeniowe stopniowo wypłaszczają się”,* oraz dalej kolejne rozbieżności: *„Odmienna maksymalna wartość siły i nieco inny przebieg wykresów w zakresie plastycznym wynikają z odmiennych niż założone właściwości materiału. W celu poprawy wyników należałoby przeprowadzić obliczenia dla wszystkich krzywych zaprezentowanych w rozdziale 3 i dobrać najlepiej pasującą do badanej próbki”* oraz *„Różnica w nachyleniu wykresów w zakresie sprężystym wynika z przyjęcia do obliczeń zbyt dużego modułu Younga z jednej strony i niedokładnego pomiaru przemieszczenia w doświadczeniu z drugiej”*.  
Nasuują się zatem następujące pytania:
  - Dlaczego w analizie MES przyjęto do obliczeń materiał nieskończenie ciągły oraz założenie o niemodelowaniu zerwania próbki?
  - Jaki jest powód przyjęcia odmiennych niż rzeczywiste parametrów materiałowych oraz dlaczego nie przeprowadzono obliczeń prowadzących do uzyskania lepszej zbieżności?
  - Jeśli uzyskanie zbieżności modelu MES z badaniami laboratoryjnymi (kalibracja modelu) nie był celem tego przykładu, to jaki był jego cel?
  - Dlaczego przyjęto do obliczeń moduł Younga nie będący odzwierciedleniem rzeczywistych pomiarów, a tym samym nie dający odpowiedniej zbieżności?
- Zastanawiający jest fakt przyjęcia przez Doktoranta następującego założenia: *„Założono jednorodność i izotropowość materiału oraz model sprężysto-plastyczny z idealnie liniową zależnością między naprężeniem a odkształceniem w zakresie sprężystym.”* w świetle głównego wniosku płynącego z Rozdziału 3, a mianowicie:



„Powyższe obserwacje pozwalają wysnuć wniosek, że badany materiał nie spełnia założenia o jednorodności przyjmowanego przy projektowaniu konstrukcji stalowych” oraz „Przeprowadzona analiza statystyczna potwierdza poprzednie przypuszczenia o dużym zróżnicowaniu właściwości badanego materiału.”.

### Rozdział piąty „Ściskanie perforowanych prętów cienkościennych o bardzo małej smukłości”

- Na stronie 122 Autor opisuje numerację próbek, które podlegać mają ścisaniu „przy zamocowaniu sztywnym”. Przyznam, że opis tych próbek, jak i ich nazewnictwo nie jest dla mnie jasne. Bardzo trudno podążać tutaj za intencjami Autora.
- Na stronie 160 Kandydat prezentuje następujące stwierdzenie: „*W nadziei uzyskania bardziej jednoznacznego schematu statycznego zdecydowano się przeprowadzić dodatkowo badania przy zamocowaniu przegubowym. Ponieważ do otrzymania warunków odpowiadających z wystarczającą dokładnością swobodnemu podparciu pręta w rzeczywistości wystarczające jest użycie przegubu tylko z jednej strony, zdecydowano się zastosować właśnie takie rozwiązanie...*”. Chciałbym poprosić o wyjaśnienie samego zapisu, ale także merytorycznego uzasadnienia takiego w/w zaprezentowanego podejścia.
- Moje kolejne wątpliwości budzi zapis, który pojawia się na stronie 168, a który traktuje o różnicach pomiędzy warunkami brzegowymi badanych elementów. Zapis ten brzmi następująco: „*...wskazuje to na brak rzeczywistych, istotnych różnic pomiędzy warunkami brzegowymi otrzymanymi przy pomocy uchwytów sztywnych i przegubowych, przynajmniej w odniesieniu do nośności, a także na duże zróżnicowanie i zarazem znaczenie właściwości materiałowych badanych elementów*”. Czy tutaj Autor twierdzi, że brak jest widocznych różnic w nośności badanych elementów w kontekście warunków brzegowych?
- Proszę o jednoznaczne i krótkie uzasadnienie prezentacji wyników Pani mgr inż. Papadopoulos-Woźniak?

### **5.3. Uwagi dotyczące redakcji rozprawy**

Cześć edycyjna pracy Autora oceniana jest przeze mnie bardzo pozytywnie. Rozprawa jest przygotowana w sposób niezmiernie staranny. W szczególności chciałbym wyróżnić przygotowanie wykresów i rysunków. Stanowią one bez wątpienia walor pracy.

Co prawda w pracy pojawiają się pewne błędy językowe bądź też użycie języka nieformalnego. Poniżej przedstawiam kilka przykładów:

- Przykład użycia języka nieformalnego, np. „*Częściowo można się przed tym bronić przez przyjęcie do obliczeń...*” (s. 44),



- „Są to procedury dedykowane do obliczania modułu sprężystości ...” (s.38),
- „Przypomnijmy, że odkształcenia próbek serii 1 ...” (s. 41),
- „Szyjka widoczna gołym okiem ..” (s. 68),
- „...posiadany system, przynajmniej w posiadanej wersji, nie posiada bowiem...” (s. 71),
- „...stary środek ciężkości...” (s. 192),
- Autor stosuje w pracy odniesienia do Rozdziałów, które mają dopiero nastąpić, tj. np. w Podrozdziale 3.2.1. znajduje się odniesienie „Patrz rozdział 5”, w Podrozdziale 4.1.1 znajduje się informacja: „Próbka do testu, (...) została wycięta z tylnej ścianki kształtownika opisanego w rozdziale 5”. W mojej ocenie jest to niepraktyczne i utrudnia zrozumienie analizowanej treści, ponieważ aby w pełni zrozumieć co Kandydat miał na myśli w Rozdziale 3 należałoby w pierwszej kolejności przeczytać Rozdział 5 (Autor nie odnosi się nawet do konkretnego fragmentu rozdziału),
- Rysunki i Tabele znajdują się daleko od ich opisu w tekście, co utrudnia ich analizę, np. Rys. 3.2.17 znajduje się na stronie 60, a omawiany jest na stronie 72.

## 6. Wnioski końcowe

Podsumowując stwierdzam, że rozprawa doktorska Pana **mgra inż. Andrzeja Piotrowskiego**, pomimo w/w uwag krytycznych stanowi rozwiązanie oryginalnego zagadnienia naukowego. Doktorant wykazał się znajomością aktualnego stanu wiedzy w zakresie podjętej tematyki. Wysoko oceniam badawcze prace laboratoryjne Kandydata i stwierdzam, że ta część Jego aktywności jest po prostu pozytywna. Stwierdzam również, że wykazuje umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

W swej ewentualnej dalszej pracy badawczej powinien jednak w sposób zdecydowany poprawić jakość i sposób przedstawianych wyników badań. Należałoby również by Kandydat uświadomił sobie, że nie jest koniecznym pisanie prac o znacznej objętości, a raczej wyciąganie i przedstawianie z przeprowadzonych badań konkretnych, jednoznacznych i poszerzających obecny stan wiedzy wniosków.

**Biorąc powyższe pod uwagę stwierdzam, że recenzowana rozprawa doktorska autorstwa mgra inż. Andrzeja Piotrowskiego pt. „Weryfikacja modeli konstytutywnych sprężysto-plastyczności przy zastosowaniu MES i optycznej korelacji obrazu”, spełnia wymogi stawiane pracom doktorskim określone w wytycznych zawartych w ustawie. W związku z tym stawiam wniosek o przyjęcie rozprawy i dopuszczenie jej do publicznej obrony przed Radą Dyscypliny Naukowej Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Warszawskiej.**

*Jack Safran*