



Prof. dr hab. inż. Mariusz Maślak  
Politechnika Krakowska  
Wydział Inżynierii Lądowej  
Katedra Konstrukcji Mostowych, Metalowych i Drewnianych  
Warszawska 24  
31-155 Kraków  
e-mail: [mmaslak@pk.edu.pl](mailto:mmaslak@pk.edu.pl)

Kraków, 16.09.2022

**Recenzja pracy doktorskiej mgr inż. Damiana Kozikowskiego  
na temat „Badanie stateczności ściskanych osiowo walcowych powłok stalowych  
z uwzględnieniem kształtu i liczby imperfekcji geometrycznych”**

**1. Uwagi formalne**

Niniejsza recenzja została opracowana na mocy uchwały Rady Dyscypliny Naukowej „Inżynieria Lądowa i Transport” podjętej na Politechnice Wrocławskiej w dniu 15 czerwca 2022 roku. Postanowieniem tej uchwały zostałem powołany na recenzenta w postępowaniu doktorskim mgr inż. Damiana Kozikowskiego. Odpowiednie zlecenie podpisał przewodniczący Rady, pan prof. dr hab. inż. Wojciech Puła.

Opinia dotyczy dysertacji podsumowującej postępowanie doktoranta, zatytułowanej „Badanie stateczności ściskanych osiowo walcowych powłok stalowych z uwzględnieniem kształtu i liczby imperfekcji geometrycznych”. Promotorem w tym postępowaniu jest dr hab. inż. Eugeniusz Hotała, prof. PWr. Realizowane jest ono w dyscyplinie naukowej „Inżynieria Lądowa i Transport”.

**2. Kwestia doboru tematu, zasadność zidentyfikowanego celu badań i istotność weryfikowanej przez doktoranta tezy naukowej**

Zachowanie się pod obciążeniem osiowo symetrycznych, cienkościennych powłok stalowych o nieidealnej geometrii, w tym w szczególności takich, które w czasie użytkowania poddawane są równomiernemu lub ewentualnie nierównomiernemu ściskaniu na kierunku południkowym, nadal nie jest do końca rozpoznane. Rzeczywiste powłoki tego typu, realizowane w praktyce, znacząco odbiegają bowiem od odpowiadających im obiektów modelowanych numerycznie, o intencjonalnie dobieranych wzorcach imperfekcji. Różnorodność możliwych odchyłek od wyidealizowanego kształtu powłoki, a także trudna do jednoznacznego ujęcia opisowego losowość ich rozkładu przestrzennego, może bowiem w efekcie prowadzonych obliczeń dawać jakościowo i ilościowo zróżnicowane oszacowania prognozowanej nośności, niekoniecznie przy tym miarodajne dla zainteresowanego użytkownika. Powszechnie stosowane w praktyce w ostatnich latach modele obliczeniowe o mniej lub bardziej regularnym, zakładanym a priori jako potencjalnie najbardziej niekorzystnym, opisie przyjętego do rozważań kształtu powłoki przy obecnym stanie wiedzy nie są już uznawane za reprezentatywne w tego rodzaju analizie. Preferuje się bowiem na tym polu podejście alternatywne, bazujące na modelach kalibrowanych w oparciu o wyniki inwentaryzacji odchyłek mierzonych in situ, na odpowiednio licznej i statystycznie jednorodnej populacji obiektów już zrealizowanych, o zbliżonych proporcjach i o podobnym sposobie

użytkowania. Opracowana w ten sposób i przyjęta do dalszych obliczeń mapa deformacji z reguły nie jest tą którą w danych okolicznościach należałoby kojarzyć z minimum nośności badanej powłoki. Opiera się ona jednak na formalnie prawdopodobnym w realizacji opisie kształtu i intensywności zadawanych imperfekcji, nie zaś na takim, który co prawda dawałby dla tego samego obiektu oszacowania bardziej niekorzystne, niemniej jednak prawdopodobieństwo jego wystąpienia byłoby znikomo małe.

Problematyka opracowania takiego wzorca imperfekcji, który w analizie stateczności okazałby się być reprezentatywnym dla tego rodzaju powłok jest jak dotąd tematem bardzo dużej liczby profesjonalnych prac naukowych. W opinii recenzenta nie wypracowano jednak w tej kwestii w miarę jednoznacznych rekomendacji i procedur postępowania. Z tego względu zadanie podjęte przez doktoranta należy uznać za ciekawe i wartościowe poznawczo. Trzeba przy tym zauważyć pewną oryginalność zastosowanego w praktyce podejścia obliczeniowego. Doktorant formułuje do udowodnienia trzy tezy badawcze, uznając przy tym, że głównym źródłem imperfekcji obserwowanych w zrealizowanych powłokach analizowanych w dysertacji są procesy technologiczne związane z wykonawstwem, w tym w szczególności te kojarzone ze spawaniem blach tworzących poszczególne cargo. W takim ujęciu imperfekcją wiodącą staje się zbiór trudnych do uniknięcia wgnieceń i wgłębień, o losowym rozmieszczeniu i losowej intensywności. Autor dysertacji stwierdza przy tym, że w rozpatrywanych obiektach „amplituda największej pojedynczej imperfekcji [modelowana globalnie – przyp. recenzenta] w postaci wgłębień obwodowych nie zawsze jest miarodajnym parametrem decydującym o jej nośności granicznej”. Twierdzi również, że „kształt i powierzchnia imperfekcji geometrycznych [modelowanych – przyp. recenzenta] w postaci wgłębień obwodowych mogą mieć istotny wpływ na nośność graniczną ściskanej stalowej powłoki walcowej, a nie tylko sama wartość amplitudy wgłębień”. W kolejnej tezie pisze, że „istnieje potrzeba opracowania nowych zasad oceny jakości wykonania walcowych powłok stalowych ściskanych południkowo i sposobu uwzględniania kształtu i liczby imperfekcji geometrycznych w analizach nośności tych powłok”. A zatem „proponowane [jak dotąd – przyp. recenzenta] regulacje normowe w tym zakresie są niewystarczające”. Z tak zapisanymi tezami trudno się nie zgodzić. W dalszej części niniejszego dokumentu recenzent postara się poddać weryfikacji czy, a jeśli tak to w jakim stopniu, zostały one faktycznie potwierdzone przez doktoranta. W tym miejscu zauważmy jedynie, że, w opinii recenzenta, tezy pierwsza i druga nie są logicznie rozłączne. Wydaje się bowiem, że teza druga jest w dużej mierze implikacją tezy pierwszej.

Istotnym brakiem tej części rozprawy jest brak jednoznacznego stwierdzenia, że doktorant w swoich rozważaniach nie analizuje przypadku powłoki o przekroju zowalizowanym. W opinii recenzenta takie ograniczenie zakresu badań znacząco osłabia wartość naukową uzyskanych finalnie wyników. Wydaje się bowiem, że tego typu globalna imperfekcja powłoki może mieć w analizie jej stateczności znaczenie kluczowe. Imperfekcje lokalne modelowane przez doktoranta w postaci wgłębień i wgnieceń miałyby w takiej sytuacji prawdopodobnie jedynie drugorzędne znaczenie, być może o charakterze swego rodzaju fluktuacji względem podstawowego wpływu. Bardzo proszę doktoranta o ustosunkowanie się do tej kwestii w czasie publicznej obrony. Czy, zdaniem autora dysertacji, interakcja obu wymienionych wyżej rodzajów imperfekcji da wynik będący prostym złożeniem obu efektów rozpatrywanych osobno? Czy spodziewany jest w tym względzie efekt synergii obu wpływów? Czy, biorąc pod uwagę doświadczenie doktoranta uzyskane dzięki prowadzonym przez niego inwentaryzacjom, efekt owalizacji przekroju kołowego, odniesiony do powłok o stosunkowo dużych średnicach, okazuje się być powszechnie obserwowaną imperfekcją, czy raczej występuje stosunkowo rzadko? Na ile, zdaniem doktoranta, i w jakich okolicznościach, efekt ten może być obliczeniowo pominięty bez utraty wiarygodności uzyskanych oszacowań nośności? Recenzent dostrzega w tym względzie obietnicę doktoranta zapisaną w punkcie 6.3.2 dysertacji, że kwestie te staną się tematem jego przyszłych dociekań naukowych. Niemniej

jednak wydaje się, że wstępna odpowiedź na postawione tu pytania, sformułowana przez autora rozprawy, pozwoli na doprecyzowanie oceny istotności naukowej uzyskanych przez niego rozwiązań. Chodzi o to, czy rozważane w rozprawie sytuacje dotyczące powłoki bez owalizacji przekroju, za to jedynie z lokalnymi imperfekcjami zadawanymi przez doktoranta, są sytuacjami realnymi i obserwowanymi na obiektach rzeczywistych, zrealizowanych w praktyce, czy są to raczej jedynie przyczynki do dalszych analiz, o bardziej złożonym charakterze, zaplanowanych do przeprowadzenia w przyszłości.

### **3. Uwagi krytyczne dotyczące kwestii edytorskich i języka prowadzenia wyводу merytorycznego**

Przed przystąpieniem do merytorycznej oceny uzyskanych przez doktoranta wyników konieczne jest krytyczne odniesienie się recenzenta do kilku kwestii natury edytorskiej. Sprawy te są bowiem w jego odczuciu najsłabszą stroną ocenianej dysertacji i wymagają odrębnego komentarza.

Po pierwsze, bardzo niedobrym nawykiem autora rozprawy jest zamieszczanie w niej *in extenso*, bez żadnych przeróbek lub ewentualnych adaptacji, odbitek kserograficznych ilustracji kopiowanych przez niego z różnych publikacji. Pomijając kwestie etyczne, nawet przy wskazanym źródle cytowania, rodzi to chaos informacyjny związany z różnymi skalami opisu osi, z odmiennymi i nieporównywalnymi ze sobą jednostkami, z różnego rodzaju krojami i rozmiarami czcionek itp. Niektóre opisy na rysunkach pozostawiono przy tym w języku angielskim, inne przywołano natomiast w języku polskim. Brak staranności autora w tym względzie sprawia wrażenie opracowania przygotowanego byle jak, niejako „na ostatnią chwilę”. Tego typu maniera w sposób niewątpliwy psuje ogólną ocenę recenzenta.

Razi również bardzo niefrasobliwy i mało staranny sposób prezentacji wyводу merytorycznego. Tekst w dużej części sprawia wrażenie felietonu lub co najwyżej artykułu popularyzatorskiego. Brak w nim dbałości o ścisłość i logiczną spójność przekazywanych informacji. Poszczególne kwestie, w tym zwłaszcza odautorskie komentarze, są z niewiadomych przyczyn wielokrotnie i zupełnie niepotrzebnie powtarzane. Czyni się to w różnych, mniej lub bardziej do tego odpowiednich, miejscach rozprawy. Opracowane przez doktoranta rozdziały napisano przy tym w różnych stylach.

Recenzent nie uznaje za celowe opisywanie w pracy doktorskiej rzeczy ogólnie znanych. Chodzi tu w szczególności o zamieszczone w tekście rozważania autora dotyczące zasad prowadzenia przez niego procesu iteracyjnego. Komentarze na temat powszechnie stosowanej w praktyce metody Newtona – Raphsona, czy też skojarzonego z nią algorytmu Riksa, w odczuciu recenzenta nie wnoszą żadnej nowej wiedzy. Co więcej, sposób ich prezentacji sprawia wrażenie nie do końca zresztą udanego a przy tym formalnie dość wybiórczego i subiektywnego kopiowania całych fragmentów ogólnie dostępnego podręcznika użytkownika.

Nie wszystkie treści podawane przez doktoranta są dla recenzenta zrozumiałe. Na stronie 16 rozprawy pisze on na przykład „Po raz pierwszy podjęto próbę opisu imperfekcji osiowosymetrycznych z perspektywy inżynierii w dziedzinie lotnictwa. Zlekceważono wtedy jednak problem występowania imperfekcji osiowosymetrycznych ...”. Na stronie 24 mamy informację o efektach lokalnych „... które odgrywają decydującą rolę w tak zwanych [podkreślenie recenzenta] przekrojach cienkościennych”. Nie wiadomo jak interpretować opisane przez doktoranta na stronie 27 „... relatywne wartości długości półfal”. Co oznacza „... obszar kartezjański” pokazany na rysunku 2-3? Na stronie 28 rozprawy doktorant pisze, że Hoff [42] „... otrzymał przy użyciu teorii małych przemieszczeń wartość naprężeń krytycznych blisko 50% mniejszą niż wynikało to z teorii klasycznej dla powłoki walcowej ...”. Informacja cenna, tyle, że w kolejnym wierszu mamy napisane o niejakim Nachbarze, który rok później

otrzymał w tym względzie jeszcze większą redukcję wynoszącą 37,8% [podkreślenie recenzenta]. O co chodzi w zdaniu zapisanym na stronie 32 dysertacji w postaci „.... zagadnienie występowania imperfekcji w konstrukcjach powłokowych inicjalnie nie było głównym elementem skupiającym uwagę naukowców badających ich nośność”? Co to jest „.... względna współrzędna osiowa” pokazana na rysunku 2-9? Jak doktorant rozumie „.... naprężenia plastyczności” przywołane przez niego na stronie 44 rozprawy? Na czym polega „.... wprowadzenie pola ściskanego w powłoce” omawiane na stronie 45 ocenianej pracy? Jak interpretować stwierdzenie doktoranta ze strony 87 dysertacji, że „.... obwodowy rozkład imperfekcji jest w przybliżeniu dwa razy większy niż osiowy”? Na czym polega opisane na stronie 102 „.... badanie stabilności powłok”? Co to znaczy, że „.... równania konstytutywne są zaspokojone”, jak pisze autor na stronie 104? Po co pisać o „.... podejściu inkrementalnym do [rozwiązywania – przyp. recenzenta] równań równowagi ...” jak napisano na stronie 116 rozprawy, skoro w języku polskim można mówić po prostu o analizie przyrostowej?

Kolejną sprawą dotyczącą kwestii edytorskich jest brak staranności doktoranta w cytowaniu rozpatrywanych przez niego formuł i zależności matematycznych. Przykładowo, na stronach 30-31 pisze on o względnym współczynniku nośności powłoki  $\Sigma$ . Nie podaje jednak nigdzie jego interpretacji formalnej. Jest to tym bardziej dziwne, że na rysunku 2-5 wartości tego współczynnika skalują oś pionową wykresu. Na stronie 39 dysertacji, przy opisie wzorów 2.5a oraz 2.5b nie odniesiono się w żaden sposób do zastosowanego w tym opisie położenia osi układu współrzędnych, co zdaniem recenzenta, ma kluczowe znaczenie dla omawianego w tej części pracy podejścia obliczeniowego. Na stronie 63 rozprawy, w zależności 2.12b, przywołano parametr skali  $s$ , nie napisano jednak co on w praktyce oznacza i jak go interpretować. Podobnie potraktowano wykładnik  $\eta$  stanowiący ważny parametr wzoru 2.13b zapisanego na tej samej stronie. Nie wiadomo również, co oznaczają symbole „vorh a” oraz „zul a” w zależnościach 2.26a i 2.26b przywołanych dość bezrefleksyjnie za normą DIN na stronie 72 ocenianej rozprawy. Na stronie 104 dysertacji o sześć rzędów wielkości pomyłono jednostkę przypisaną do modułu sprężystości liniowej stali.

Recenzent pragnie również zaznaczyć, że ECCS nie jest komitetem normalizacyjnym jak pisze doktorant na stronie 33 dysertacji.

#### **4. Oryginalne elementy ocenianej rozprawy – subiektywna ocena recenzenta**

Podstawą merytoryczną determinującą formalną ocenę wartości naukowej recenzowanej dysertacji jest w odczuciu recenzenta odnalezienie w niej elementów oryginalnych i wartościowych poznawczo, wzbogacających dotychczasową wiedzę w obszarze badawczym który ona obejmuje. Doktorant w opracowanej przez siebie rozprawie stara się przybliżyć czytelnikowi stosowane obecnie różnego typu podejścia obliczeniowe do analizy nośności i stateczności powłok z imperfekcjami, o nieidealnej geometrii. Czyni to, co prawda, w sposób bardzo chaotyczny i słabo uporządkowany, recenzent dostrzega jednak i docenia w tej kwestii jego czytanie, w tym w szczególności znajomość wielu profesjonalnych publikacji zamieszczonych w renomowanych periodykach naukowych o zasięgu międzynarodowym. Można dyskutować czy jest to zestawienie formalnie kompletne niemniej jednak, z uwagi na jego obszerność, należy go uznać za wystarczające dla osiągnięcia celów naukowych zaplanowanych do osiągnięcia w ramach przeprowadzonych analiz. Z lektury tego wprowadzenia wynika kilka kwestii zauważonych przez doktoranta, które recenzent w tym miejscu chce szczególnie podkreślić. Po pierwsze, trzeba docenić w miarę jednoznaczne odniesienie się autora dysertacji do sprawy istotności lub ewentualnie braku istotności wpływu jaki na stateczność badanej powłoki ma wygenerowany w niej podczas montażu i obecny przez cały okres użytkowania rozkład naprężeń spawalniczych. Na stronie 20 rozprawy jej autor pisze „W powłokach rzeczywistych nie zdarza się, że imperfekcje geometryczne występują niezależnie od rezydualnych naprężeń powstających podczas wytwarzania konstrukcji”. Na

stronie 35 ocenianej dysertacji konstatacja ta zostaje przez doktoranta wzmocniona. Píše on bowiem, że „W rzeczywistych powłokach występują również zjawiska, które mają wpływ na jej nośność ale nie można ich opisać przy pomocy prostych zależności geometrycznych. Są nimi na przykład naprężenia resztkowe wynikające z procesu spawania powłoki, mimośrodowo obciążenia, które towarzyszą zmianom grubości płaszcza [zastosowanym – przyp. recenzenta] w celu optymalizacji zużycia materiału, czy niedokładne odzwierciedlenie warunków podparcia w skali lokalnej i globalnej”. Dlaczego zatem doktorant w prowadzonych przez siebie analizach w zasadzie nie rozważa tego typu wpływów? Czy uznaje je za mało istotne dla finalnego oszacowania nośności powłoki? W wielu fragmentach opracowanego przez siebie tekstu, w odczuciu recenzenta, wydaje się on nawet przychylić do wniosku, że tego typu oddziaływania mogą okazać się korzystne dla powłoki i w pewnych jej obszarach działać na nią odciążająco. Czy tak jest w istocie? Będę wdzięczny doktorantowi za odniesienie się do tego zagadnienia podczas publicznej obrony. W kontekście tych pytań przywołajmy za doktorantem stwierdzenie cytowane w pracy za Herbertem Schmidtem, zdaniem którego „Nie jest wskazane prostowanie zbiorników przy pomocy palnika – lepiej jest widzieć zaburzenie niż ukryć je pod niewidzialnymi naprężeniami resztkowymi”. Jeśli tak, to czy działając zgodnie z tak zarysowanym scenariuszem, polegającym na rezygnacji z intencjonalnego wprowadzania do powłoki naprężeń resztkowych kosztem akceptacji istnienia w niej zinwentaryzowanych a posteriori deformacji jej idealnej geometrii, na tyle minimalizujemy ten, omawiany powyżej, dodatkowy choć przecież w dużej mierze nieunikniony wpływ, że możemy go finalnie zaniedbać w prowadzonej przez nas analizie? Doktorant na stronie 44 ocenianej pracy cytuje w tym względzie, choć chyba nieściśle, konstatację sformułowaną przez Holsta. Píše on bowiem, że zdaniem tego uczonego „nieuwzględnienie pola naprężeń rezydujących w powłoce znacząco zmienia jej zachowanie pod obciążeniem osiowym i prowadzi do zwiększenia nośności krytycznej powłoki. W obliczeniach, w których uwzględniane są jedynie niedoskonałości geometryczne może to prowadzić do błędów niedoszacowania nośności powłoki”. W opinii recenzenta oba te stwierdzenia wydają się być nieprawdziwe. Należałoby bowiem pisać w tym względzie raczej o zawyżonym oszacowaniu realnej nośności a nie o jej zwiększeniu czy też niedoszacowaniu.

W odniesieniu do powyższych rozważań należy również przytoczyć fragment tekstu publikowany przez doktoranta na stronie 29 ocenianej dysertacji. Píše on, na podstawie omawianych przez siebie prac, że „... dla powłok o najczęściej spotykanych długościach zmiany w warunkach podparcia, nawet [te uzyskane – przyp. recenzenta] poprzez zablokowanie więzi momentowej, nie mają znaczącego wpływu na [oszacowaną dla nich – przyp. recenzenta] nośność graniczną”. Co więcej, dodaje, że „wstępne odkształcenia w powłoce nie mogą mieć wpływu na nośność powłoki większego niż 15%”. W odczuciu recenzenta w dalszej części wywodu autorowi brak jednak oczekiwanej w tej kwestii konsekwencji. Wszystko bowiem co napisano w kolejnych rozdziałach wydaje się tak postawionej konstatacji w sposób jednoznaczny zaprzeczać.

To co w ocenianej rozprawie niewątpliwie oryginalne to, zdaniem recenzenta, zastosowany przez doktoranta nowatorski sposób opisu pojedynczej lokalnej imperfekcji typu wgłębienie lub wgniecenie. Imperfekcję tę opisano w dwóch wymiarach, odpowiednio względem współrzędnej osiowej i obwodowej. Uczyniono tak po to aby zweryfikować jaki wpływ na oszacowaną nośność powłoki będzie miał kształt tego rodzaju odchyłki. Pomiary i analizy przeprowadzone w pracy wykazały jednak, że wpływ ten nie okazał się być zbyt istotny. Widać to dobrze na przestrzennych wykresach uzyskanych kolejno dla różnych parametrów kształtu po przeprowadzonych dla tych założeń analizach GMNIA. Konstatację taką potwierdzają zresztą przeprowadzone niezależnie testy statystyczne. Czy zatem wprowadzenie do standardowych obliczeń tego rodzaju opisu imperfekcji ma sens? Czy podwyższony stopień komplikacji zaproponowanego przez doktoranta modelu obliczeniowego równoważy uzyskane

w praktyce efekty obliczeniowe? Zdaniem recenzenta nie do końca. Niemniej jednak należy docenić wartość poznawczą uzyskanych dzięki przeprowadzonym badaniom nie tylko wyników ilościowych ale i, choć chyba w nieco mniejszym stopniu, tych jakościowych. Zaproponowane w dysertacji zależności regresyjne mają w odczuciu recenzenta na razie charakter wstępny i, ze względu na ograniczoną jak dotąd liczbę analiz, wydają się być trudne do uogólnienia na szerszą populację powłok o bardziej zróżnicowanej geometrii.

Kolejnym wartościowym naukowo elementem pracy jest opracowany przez doktoranta i zastosowany w praktyce sposób weryfikacji wpływu liczby zamodelowanych imperfekcji lokalnych na oszacowaną obliczeniowo prognozowaną nośność badanej powłoki. Recenzent pragnie podkreślić w tym względzie interesujący sposób losowania lokalizacji danej imperfekcji a także uwzględnienia losowości ich rozmieszczenia w danym polu przy założonym jednakowym stopniu nasycenia imperfekcjami każdego pola. Docenić należy również oryginalność autorskich skryptów opracowanych przez doktoranta, zarówno tych pisanych w języku VBA jak i tych tworzonych w środowisku Matlab, zamieszczonych w załącznikach do ocenianej dysertacji.

#### **5. Próba podsumowania – ocena stopnia realizacji zamierzonych do osiągnięcia celów badawczych**

Oceniając merytoryczną wartość wyników uzyskanych przez doktoranta trzeba odnieść się do kilku kwestii. Po pierwsze, w konwencjonalnym, normowym, podejściu do obliczeń imperfekcje powłok cienkościennych uwzględnia się z reguły wprowadzając do modelu o geometrii idealnej zastępcze odchyłki geometryczne w formie lokalnych deformacji mierzonych prostopadle do powierzchni środkowej. Jeżeli brakuje innych przesłanek co do tego jaki ma być kształt tych imperfekcji zezwala się na wykorzystanie w tym względzie form własnych wyboczenia sprężystego. Takie formy mogą zostać pozyskane w prosty sposób, na przykład dzięki przeprowadzonej dla tej konstrukcji analizie LBA. Można przypuszczać, że formy własne będą odpowiadały takiej deformacji powłoki, która spowoduje największe obniżenie jej nośności. Aby konstatacja ta była prawdziwa należy jednak rozpatrywać w praktyce „dostateczną” liczbę tego typu form i wybrać spośród nich tę która okaże się najbardziej niekorzystną. Zdefiniowana w ten sposób nieidealna geometria powłoki nie występuje jednak na realnych obiektach, co oznacza, że imperfekcje określone tym podejściem dają nazbyt konserwatywne a więc zbyt ostrożne oszacowania nośności. Po drugie, alternatywnym sposobem kształtowania imperfekcji zastępczej, lepiej odpowiadającej rzeczywistości, staje się w tych okolicznościach scenariusz poszukiwania wzorca, który wystąpi w tej powłoce z odpowiednio dużym prawdopodobieństwem (zdaniem recenzenta niekoniecznie największym z tych możliwych do oszacowania, jak chciałby doktorant). Po trzecie, znany jest wniosek jakościowy, że w praktyce projektowej dla danego obiektu nie jest możliwe ustalenie wzorca najbardziej niekorzystnej imperfekcji ponieważ różne formy jego możliwych deformacji mogą okazać się decydujące przy różnych rozpatrywanych amplitudach. Po czwarte, w tej sytuacji znaczenia nabiera postulat aby modelowane imperfekcje uwzględniały efekty wynikające z praktyk wykonawczych, do których zalicza się nie tylko sposób wykonywania spoin, determinowany głównie przez ich rozmieszczenie na powłoce, ale również różnego typu mimośrodowość przyłożenia obciążenia i niejednorodności materiałowe.

Podejście zaproponowane przez doktoranta niewątpliwie w sposób aktywny odpowiada na tak postawiony postulat, przez co wpisuje się w nurt nowoczesnego i statystycznie uzasadnionego poszukiwania wzorca deformacji miarodajnego do racjonalnego szacowania nośności rozpatrywanej powłoki. Modelował one bowiem zakładane przez siebie imperfekcje lokalizując je zgodnie z obserwowaną w danej powłoce lokalizacją spoin obwodowych i towarzyszących im spoin południkowych. Pokazał, że zastosowanie dla całej powłoki pojedynczej imperfekcji zastępczej, modelowanej globalnie, może dać wynik niemiarodajny,

gdyż powłoka z dużą liczbą lokalnych deformacji o małej amplitudzie może cechować się mniejszą nośnością niż powłoka z mniejszą liczbą imperfekcji, za to o większej amplitudzie. Wykazał również, że zaobserwowanie w powłoce imperfekcji powodującej dyskwalifikację obiektu w sensie rekomendacji normowych nie musi oznaczać równoczesnej utraty możliwości bezpiecznego przenoszenia przyłożonych do tej powłoki obciążeń ściskających. Zweryfikował także, tak w sposób jakościowy jak i ilościowy, stopień istotności efektów osłabiających daną powłokę w zależności od kształtu i rozmieszczenia założonych dla niej imperfekcji.

Recenzent uznaje te osiągnięcia za wartościowe i oryginalne poznawczo i, pomimo opisywanych wcześniej zastrzeżeń dotyczących strony edytorskiej, ocenia je jako wystarczające do całościowej pozytywnej oceny pracy. Wydaje się jednak, że nie wszystkie postawione a priori do osiągnięcia cele badawcze zostały zrealizowane w równym stopniu. Doktorant jednoznacznie potwierdził potrzebę opracowania w badanych przez siebie kwestiach nowych regulacji normowych, takich, które w sposób bardziej racjonalny pozwolą budować zastępcze modele imperfekcji. Przedstawione w dysertacji różnego typu propozycje rozwiązań nie wydają się jednak jak dotąd odpowiedzią oczekiwaną w tej mierze przez projektantów. Trzeba mieć nadzieję, że dociekania na tym polu będą przez doktoranta prowadzone nadal i doprowadzą go do bardziej przekonujących rezultatów.

#### **6. Wniosek końcowy**

Uwzględniając wszystkie argumenty za i przeciw rozpatrzone w niniejszej recenzji uważam że oceniana rozprawa w wystarczającym stopniu spełnia wymogi stawiane pracom doktorskim zawarte „Ustawie o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki”, z dnia 14 marca 2003 roku (Dz. U. 2003, Nr 65, poz. 595, wraz z późniejszymi zmianami). Wnoszę o przyjęcie rozprawy i dopuszczenie doktoranta do publicznej obrony.

