

### Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr Pawła Zakrzewskiego  
pt. ***An Agile Framework Application for Safety Critical Software Development in Avionics***  
napisanej pod kierunkiem prof. PW, dr hab. inż. Renaty Walczak  
oraz prof. dr hab. inż. Janusza Narkiewicza

Recenzja została przygotowana na podstawie pisma Pani prof. PW, dr hab. inż. Katarzyny Rostek, Przewodniczącej Rady Nauki Dyscypliny Nauki o Zarządzaniu i Jakości Politechniki Warszawskiej z dnia 20 kwietnia 2023 r. Przedmiotem oceny jest rozprawa doktorska mgr Pawła Zakrzewskiego pt. *An Agile Framework Application for Safety Critical Software Development in Avionics* sporządzona na podstawie wymagań określonych w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. 2018, poz. 1668 ze zm.). Zgodnie z wymogami prawnymi rozprawa doktorska powinna prezentować ogólną wiedzę teoretyczną Kandydata w dyscyplinie oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej, a także stanowić oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, oryginalne rozwiązanie w zakresie zastosowania wyników własnych badań naukowych w sferze gospodarczej lub społecznej albo oryginalne dokonanie artystyczne.

Jednocześnie oświadczam, że:

- nie jestem współautorem prac naukowych Doktoranta,
- nie uczestniczyłem i nie uczestniczę wspólnie z Doktorantem w zespołach badawczych realizujących projekty finansowane w drodze konkursów krajowych lub zagranicznych,
- nie prowadziłem i nie prowadzę wspólnie z Doktorantem prac naukowych w instytucjach naukowych,
- nie sporządzałem recenzji w innych postępowaniach o awans naukowy Doktoranta oraz nie pełniłem w nich funkcji promotora lub promotora pomocniczego.

Układ recenzji jest zdeterminowany wymogami zawartymi w przesłanej mi umowie o dzieło.



## 1. Uwagi wstępne

Szeroko rozumiane informatyczne systemy krytyczne ze względu na bezpieczeństwo znajdują zastosowanie w wielu branżach ze szczególnym uwzględnieniem takich jak: medyczna (m.in.: sprzęt do badań obrazowych, urządzenia podtrzymujące życie), energetyczna (m.in.: energetyka jądrowa), obronna (m.in.: systemy kierowania ogniem, sterowania dronami), telekomunikacyjna (m.in.: przekaz danych), chemiczna (m.in.: produkcja substancji toksycznych lub wybuchowych) a także lotnicza, gdzie niezawodność i bezpieczeństwo ich działania mają priorytetowe znaczenie.

W lotnictwie oprogramowanie krytyczne dla bezpieczeństwa odgrywa kluczową rolę w zapewnieniu bezpiecznych oraz niezawodnych operacji lotniczych. Jest ono używane w różnych systemach i urządzeniach lotniczych, takich jak systemy nawigacyjne, systemy kontroli lotu, systemy zarządzania lotami, systemy kontroli silników oraz wielu innych.

Wszelkie działania związane z organizacją, obsługą i wykonywaniem lotów, ale także z budową oraz eksploatacją statków powietrznych są certyfikowane lub w inny sposób regulowane. To sprawia, że oprogramowanie krytyczne dla bezpieczeństwa w lotnictwie także musi spełniać bardzo rygorystyczne wymagania, aby zapewnić niezawodność działania, bezpieczeństwo użytkownika i ochronę przed ewentualnymi awariami.

Ogólnie rzecz przedstawiając, typowy proces wytwarzania oprogramowania składa się z kilku etapów, które obejmują:

- tworzenie wymagań dotyczących oprogramowania, wynikiem których jest powstanie wymagań wysokiego poziomu (HLR),
- projektowanie oprogramowania, w trakcie którego na podstawie wymagań wysokiego poziomu (HLR) tworzy się wymagania niskiego poziomu (LLR) oraz architekturę oprogramowania,
- kodowanie, w wyniku którego powstaje kod źródłowy oraz niezintegrowany kod obiektowy,
- integrację oprogramowania, w czasie którego następuje scalenie oprogramowania do postaci programów wykonywalnych oraz jego integrację z urządzeniami,
- testowanie, poprawianie ewentualnych błędów oraz wydanie klientowi.

Wytwarzając oprogramowanie wykorzystywane w lotnictwie na każdym etapie należy, na potrzeby procesu certyfikacji, tworzyć odpowiednią dokumentację, która jest niezbędnym elementem tego procesu. Certyfikacja pokładowych urządzeń elektronicznych statku powietrznego realizowana jest przede wszystkim w oparciu o standardy DO-254 (zawierający wymagania dla tzw. hardware'u) oraz DO-178C (zawierający wymagania dla tzw. software'u).

Kolejnym istotnym elementem każdego twórcy oprogramowania jest efektywność finansowa jego działalności operacyjnej. Z tego powodu każde działanie, którego konsekwencją jest zwiększenie efektywności ekonomicznej jest pożądane. Potencjał w redukowaniu kosztów wytwarzania oprogramowania mają zwinne metodyki prowadzenia projektów, które z powodzeniem są stosowane także w projektach informatycznych. Zwinne podejście do projektu informatycznego oznacza, że proces ten jest elastyczny (podzielony jest na krótkie działania, które łatwo dostosowywać do zmieniających się wymagań) oraz

adaptacyjny ponieważ dzięki zastosowaniu iteracji dostosowanie do zmieniających się wymagań (np. klienta) wdraża się na bieżąco do struktury tworzonego oprogramowania. Kolejną kluczową cechą zwinnych metod prowadzenia projektów jest ciągła współpraca z klientami, która sprawia, że produkt końcowy jest maksymalnie dostosowany do ich wymagań. Stosowanie zwinnych metodyk zarządzania oferuje również możliwość skrócenia czasu dostarczania wartości różnym interesariuszom (co najczęściej przyczynia się także do redukcji kosztów), zwiększenia zaangażowania pracowników oraz wdrożenia zasad ciągłego doskonalenia.

Z tych powodów podjęty przez Doktoranta (Kandydata) w recenzowanej rozprawie doktorskiej temat, którego celem jest opracowanie i sprawdzenie metodyki zwinnej zarządzania projektami, która umożliwi projektowanie oprogramowania krytycznego dla bezpieczeństwa awioniki dla małych i średnich projektów oraz równocześnie umożliwia proces certyfikacji systemu awioniki zgodny z wymaganiami standardu DO-178C jest ważny oraz aktualny zarówno w warstwie teoriopoznawczej (naukowej), jak i aplikacyjnej (a może przede wszystkim).

Podmiotem badawczym wykorzystanym w rozprawie jest przedsiębiorstwo GE Aviation, którego trzy projekty stworzenia oprogramowania krytycznego dla bezpieczeństwa dla: wielofunkcyjnego wyświetlacza pokładowego do śmigłowca, pokładowego wyświetlacza awaryjnego do samolotu wielozadaniowego oraz pokładowego wyświetlacza komunikacyjnego, Doktorant wykorzystał do zastosowania koncepcji i jej walidacji.

Co istotne dla potwierdzenia zasadności podjęcia badań i przedstawienia ich w formie wdrożeniowej rozprawy doktorskiej wszystkie projekty, według zapewnień Doktoranta, zakończono udaną certyfikacją, testami w locie oraz wejściem ich do użytkowania.

Nie mniej istotnymi powodami uzasadniającymi podjęcie przez Doktoranta takiego tematu rozprawy doktorskiej są:

- znikoma dostępność w literaturze przedmiotu opracowań związanych z wykorzystaniem zwinnych metodyk do tworzenia oprogramowania krytycznego dla bezpieczeństwa, szczególnie w branży lotniczej,
- opracowanie i walidacja zwinnej metodyki zarządzania projektami, która umożliwia projektowanie oprogramowania krytycznego dla bezpieczeństwa awioniki dla małych i średnich projektów informatycznych,
- zastosowanie w rzeczywistych projektach zwinnej metodyki w tworzeniu oprogramowania krytycznego dla bezpieczeństwa w instrumentach pokładowych statków powietrznych.

Na podstawie przedstawionych powyżej argumentów oceniam wybór tematyki rozprawy doktorskiej za trafiony i istotnie potrzebny.



## **2. Ocena układu rozprawy doktorskiej, w tym informacje o jej poszczególnych częściach składowych**

Recenzowana rozprawa doktorska składa się z dziesięciu części, wśród których znajduje się wstęp oraz zakończenie, a także stosownych wykazów i spisów. Całość rozprawy składa się z 148 stron, z czego merytoryczna część stanowi 102 strony.

Struktura pracy jest standardowa, kolejność rozdziałów jest właściwa, zdeterminowana problematyką badawczą oraz realizacją celu głównego oraz czterech celów szczegółowych. W recenzowanej rozprawie wyróżnić można dwie zasadnicze części: pierwsza teoretyczna, która składa się z czterech pierwszych rozdziałów oraz druga praktyczna, do której zaliczyć należy pozostałych sześć rozdziałów. Część druga praktyczna, w której Doktorant przedstawił koncepcję zwinnej metodyki do tworzenia oprogramowania krytycznego dla bezpieczeństwa w awionice oraz jej rzeczywiste zastosowanie w trzech *case study* stanowi istotne osiągnięcie naukowe Doktoranta.

Pierwszy rozdział (wstęp) został podzielony na siedem części: 1) metody zwinne, 2) tworzenie oraz certyfikacja oprogramowania awioniki, 3) podstawowy standard certyfikacji oprogramowania, 4) luka naukowa oraz problem badawczy, 5) cele naukowe, 6) struktura rozprawy oraz 7) metody badawcze. Wstęp stanowi dobre wprowadzenie do tematyki rozprawy i w wystarczający sposób przedstawia zamierzenia Doktoranta. Przedstawił w nim uzasadnienie podjęcia tematyki badawczej, problem badawczy, cel główny, cele szczegółowe, pytania badawcze oraz metody badawcze, a także oczekiwane efekty. W rozdziale tym zostały także scharakteryzowane poszczególne rozdziały.

Uzupełnieniem części teoretycznej są kolejne rozdziały rozprawy (od drugiego do czwartego), w których Doktorant przedstawił na podstawie badań literaturowych efekty swoich dociekań naukowych dotyczących wybranych metod wytwarzania oraz rozwoju oprogramowania ze szczególnym uwzględnieniem metod zwinnych.

Rozdział drugi stanowi ogólne przedstawienie metod wytwarzania oprogramowania informatycznego stosowanego w instrumentach pokładowych statków powietrznych. Metodologia ta została poddana analizie na każdym etapie cyklu życia projektu informatycznego.

W rozdziale trzecim Doktorant poddał ocenie najbardziej popularne metodyki wytwarzania oprogramowania wskazując na ich pozytywne i negatywne aspekty zastosowania w wytwarzaniu oprogramowania krytycznego dla bezpieczeństwa.

W rozdziale czwartym Doktorant analizował możliwości zastosowania metod zwinnych do wytwarzania oprogramowania krytycznego dla bezpieczeństwa w innych branżach niż lotnicza, aby zwiększyć skuteczność swojej koncepcji w zastosowaniach lotniczych. Rozważania te są mocno osadzone w badaniach literaturowych. Do ustalenia pozycji bibliograficznych związanych z badanym obszarem Doktorant wykorzystał analizę statystyczną publikacji z zastosowaniem aplikacji VOSviewer. Dzięki swoim badaniom wyspecyfikował trzy główne skupienia:

- 1) oprogramowanie krytyczne dla bezpieczeństwa,
- 2) normy bezpieczeństwa,

3) metody zwinne.

Doktorant w tym rozdziale podjął się także próby określenia przydatności aplikacyjnej metod zwinnych do wytwarzania oprogramowania krytycznego dla bezpieczeństwa instrumentów pokładowych statków powietrznych.

Część teoretyczną rozprawy oceniam pozytywnie, Doktorant omówił te obszary, które są niezbędne w realizacji założeń rozprawy doktorskiej, a poziom tej części rozprawy daje podstawy do stwierdzenia, że **prezentuje ona ogólną wiedzę teoretyczną Doktoranta w dyscyplinie nauki o zarządzaniu i jakości oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.**

W części praktycznej rozprawy (rozdziały od piątego do dziewiątego) Doktorant przedstawił autorski model metodyki zwinnej możliwej do zastosowania przy tworzeniu oprogramowania krytycznego dla bezpieczeństwa stosowanego w awionice. Model ten został poddany ewaluacji w trakcie wytwarzania oprogramowania krytycznego dla bezpieczeństwa trzech instrumentów pokładowych: wielofunkcyjnego wyświetlacza pokładowego do śmigłowca, pokładowego wyświetlacza awaryjnego do samolotu wielozadaniowego oraz pokładowego wyświetlacza komunikacyjnego.

W podsumowaniu Doktorant przedstawił wnioski, odniósł się do realizacji założeń i celów rozprawy, a także przedstawił ograniczenia modelu oraz kierunki dalszego doskonalenia.

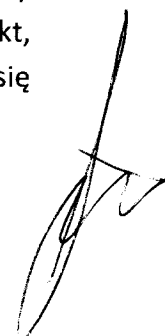
W rozprawie brakuje mi jasnego i kompleksowego omówienia udziału Doktoranta w procesie konceptualizacji oraz stosowania przedstawionego w rozprawie modelu i dlatego proszę, aby Doktorant podczas obrony rozprawy doktorskiej przedstawił w szczegółowy sposób swój udział w tworzeniu i stosowaniu opisanej przez Niego koncepcji zwinnej metodyki zarządzania projektami informatycznymi, która umożliwi projektowanie oprogramowania krytycznego dla bezpieczeństwa awioniki dla małych i średnich projektów.

Podział opracowania jest typowy dla rozpraw doktorskich tworzonych w dyscyplinie nauki o zarządzaniu i jakości. Budzić pewne zastrzeżenia może zbyt duże rozdrobnienie rozdziałów (dziesięć rozdziałów na ok. 100 stronach) co skutkuje tym, iż na przykład rozdział dziewiąty ma trzy i pół strony.

Układ rozprawy oraz zawartość merytoryczną poszczególnych jej części składowych oceniam pozytywnie.

### **3. Ocena zastosowanego piśmiennictwa w ramach rozprawy doktorskiej**

Pierwszą część rozprawy Doktorant opracował, biorąc pod uwagę specyfikę tematyki, na podstawie szeroko i dogłębnie przeprowadzonych badań literaturowych, wykorzystując metody krytycznej analizy literatury, indukcji, syntezy oraz dedukcji. W rozprawie zostało wykorzystanych 139 różnorodnych pozycji bibliograficznych w przytłaczającej większości anglojęzycznych. Poszczególne pozycje bibliografii są aktualne (w zdecydowanej większości rok publikacji tych pozycji datuje się po 2010 roku), odpowiednio dobrane do tematu rozprawy oraz problematyki badawczej, a także właściwie wykorzystane. Zastanawiający jest tylko fakt, iż Doktorant nie skorzystał z wszystkich pozycji literaturowych, które udało mu się



wyspecyfikować dzięki analizie statystycznej przeprowadzonej z użyciem oprogramowania VOSviewer, a wykazanej w załączniku.

Dobór i zastosowanie wszystkich pozycji piśmiennictwa oceniam pozytywnie.

#### **4. Wskazanie oraz ocena celu rozprawy doktorskiej**

Informacje zawarte we wstępie (rozdział 1) przedstawiają zamierzenia i założenia badawcze Doktoranta. W kolejnych częściach rozprawy Doktorant realizuje zamierzenia w oparciu o założenia badawcze poczynione we wstępie pracy co tworzy spójną całość przedstawiającą proces badawczy Doktoranta. Dowodzi to dobrego opanowania warsztatu badawczego przez Doktoranta.

Doktorant uzasadnił swój wybór problemu badawczego tym, że: *...założenia metodyki zwinnej miały ograniczone zastosowanie do wytwarzania oprogramowania krytycznego dla bezpieczeństwa w lotnictwie, ponieważ są one trudne do stosowania w oprogramowaniu podlegającym certyfikacji...*<sup>1</sup>. Dodatkowo stwierdził, że: *Metodyka zwinna nie uwzględnia tworzenia dokumentacji jako istotnej części projektu informatycznego, a jest ona niezbędnym elementem procesu certyfikacji oprogramowania krytycznego dla bezpieczeństwa w lotnictwie.*

Kolejną zidentyfikowaną przez Doktoranta kwestią, która nie została odpowiednio uwzględniona w obecnej metodyce zwinnej, jest uznanie i zaangażowanie instytucji certyfikujących jako pierwszorzędnych interesariuszy projektu. Te stwierdzenia pozwoliły Doktorantowi zidentyfikować lukę badawczą, którą określił jako: brak sprawdzonej i szczegółowo opisanej metodologii zwinnej, która odnosi się do wszystkich ograniczeń oprogramowania krytycznego dla bezpieczeństwa oraz w pełni spełnia normę DO-178C, jest spójna, powtarzalna i możliwa do zastosowania dla różnych instrumentów pokładowych statków powietrznych. Z tą konstatacją Doktoranta zgadzam się w zupełności i tak zidentyfikowaną lukę badawczą oraz uzasadnienie uznaję za właściwe.

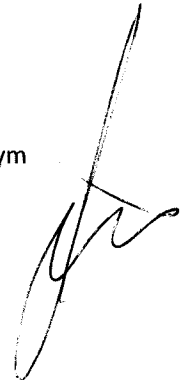
Wykorzystując takie uzasadnienie problemu badawczego Doktorant określił główny cel pracy jako: *...opracowanie i sprawdzenie koncepcji metodyki zwinnej, która mogłaby zostać wykorzystana do wytwarzania oprogramowania krytycznego dla bezpieczeństwa w przemyśle lotniczym dla małych i średnich projektów.*

Doktorant określił również główne pytanie badawcze: Jak skutecznie zastosować metodyki zwinne w projekcie wytwarzania oprogramowania krytycznego dla bezpieczeństwa? Pytanie to oraz cel główny rozprawy sprawił, że Doktorant postawił dodatkowo cztery pytania szczegółowe:

1. Jakie są obecnie stosowane procesy rozwoju oprogramowania krytycznego dla bezpieczeństwa w przemyśle lotniczym?
2. Jakie są wyzwania związane z zastosowaniem metodyk zwinnych do rozwoju oprogramowania krytycznego dla bezpieczeństwa?

---

<sup>1</sup> Rozprawa doktorska napisana jest w języku angielskim, a zatem wszelkie cytaty są tłumaczenie własnym recenzenta.



3. Jakie założenia metodyk zwinnych mógłby być użyte do rozwoju i certyfikacji oprogramowania krytycznego dla bezpieczeństwa w obecnej niezmodyfikowanej formie?
4. Jak zdefiniować i wdrożyć metodykę zwinną dla rozwoju oprogramowania krytycznego dla bezpieczeństwa w lotnictwie?

Dzięki określeniu pytania badawczego i celu głównego oraz pytań badawczych szczegółowych Doktorant mógł wyznaczyć cztery cele szczegółowe, które zaprezentował w perspektywie teoriopoznawczej oraz aplikacyjnej.

Ich brzmienie oraz zawartość merytoryczną Doktorant przedstawił w formie tabelarycznej (tabela 2). W efekcie kanalizują się one w oczekiwanym wyniku, który ma przyjąć postać: zdefiniowanej i zatwierdzonej w praktyce metodyki zwinnej, która w pełni jest możliwa do zastosowania przy wytwarzaniu oprogramowania krytycznego dla bezpieczeństwa awioniki.

Cel główny, cele szczegółowe wraz z pytaniem badawczym głównym i pytaniami badawczymi szczegółowymi są ambitne i trudne w realizacji co tylko potwierdza zasadność podjęcia tej problematyki badawczej przez Doktoranta.

Cele rozprawy oraz pytania badawcze zostały poprawnie sformułowane i są spójne z tytułem pracy.

Cele szczegółowe wpisują się w poszczególne części rozprawy. Należy stwierdzić, że podczas realizacji badań Doktorant osiągnął wszystkie zakładane cele oraz uzyskał odpowiedzi na postawione we wstępie pytania badawcze. Potwierdzeniem tego stwierdzenia są zaprezentowane w rozdziałach sześć, siedem i osiem efekty wdrożenia koncepcji metodyki zwinnej w proces wytwarzania oprogramowania krytycznego dla bezpieczeństwa awioniki.

W pracy można zauważyć bardzo konkretne i spójne przedstawienie efektów pracy naukowej Doktoranta, co zapewne związane jest z jego doświadczeniem zawodowym. Należy ocenić to jak najbardziej pozytywnie.

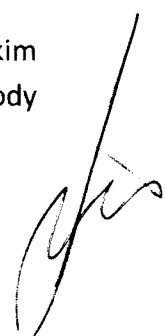
Jako mankament w prezentacji wyników badań wskazać można ograniczenia narzucone przez podmiot badawczy – GE Aviation.

W opracowaniach naukowych brakuje „dedykowanych” rozwiązań dotyczących metodyk zwinnych w zastosowaniach lotniczych, które są szczegółowo certyfikowane. Z tego powodu osiągnięcie Doktoranta dotyczące modelu opracowania i sprawdzenia koncepcji metodyki zwinnej, która mogłaby zostać wykorzystana do wytwarzania oprogramowania krytycznego dla bezpieczeństwa w przemyśle lotniczym dla małych i średnich projektów **należy uznać za oryginalne rozwiązanie problemu badawczego oraz zastosowanie wyników własnych badań naukowych w sferze gospodarczej.** Jest to główne i istotne osiągnięcie naukowe Doktoranta, które oceniam na bardzo wysokim poziomie.

Sformułowane cele oraz pytania badawcze oceniam pozytywnie.

##### **5. Wskazanie oraz ocena zastosowanych metod badawczych**

W części teoretycznej rozprawy doktorskiej Doktorant korzystał przede wszystkim z badań literaturowych wykorzystując różnorodne pozycje literaturowe, stosował metody krytycznej analizy literatury, indukcji, syntezy oraz dedukcji.



W części praktycznej rozprawy Doktorant wykorzystał przede wszystkim dwie metody badawcze. Pierwsza – modelowanie, co oznacza w przypadku recenzowanej rozprawy stworzenie koncepcji metodyki zwinnej wytwarzania oprogramowania krytycznego dla bezpieczeństwa w lotnictwie, do stworzenia której Doktorant wykorzystał swoje doświadczenie zawodowe. Druga, którą można określić jako *badanie poprzez działanie*. Działanie to skutkowało wytworzeniem oprogramowania krytycznego dla bezpieczeństwa dla trzech przyrządów pokładowych statków powietrznych. W kolejnych projektach oprogramowania oraz ich wdrożeniach metodyka zwinna wytwarzania oprogramowania krytycznego dla bezpieczeństwa była doskonała.

Postępowanie takie jest jak najbardziej właściwe biorąc pod uwagę wdrożeniowy charakter doktoratu. Tym bardziej, że postępowanie takie umożliwiło wdrażanie wniosków z wcześniejszych prototypów oprogramowania, a także dokonanie oceny jakości implementacji metodyki zwinnej do wytwarzania oprogramowania krytycznego w lotnictwie.

Skuteczność koncepcji została potwierdzona udanymi wdrożeniami oprogramowania krytycznego dla bezpieczeństwa w trzech różnych instrumentach pokładowych statków powietrznych. **Koncepcja ta stanowi wkład w rozwój dyscypliny nauki o zarządzaniu i jakości.**

Zastosowane w recenzowanej rozprawie doktorskiej metody badawcze oceniam pozytywnie.


## **6. Ocena części rozprawy dotyczącej omówienia wyników badań**

Podjęte przez Doktoranta w rozprawie zagadnienie uznaję za interesujące badawczo, ciekawe w warstwie teoriopoznawczej, jak i mocno ukierunkowane aplikacyjnie. Weryfikacja koncepcji metodyki zwinnej stosowanej do wytwarzania oprogramowania krytycznego dla bezpieczeństwa w lotnictwie została dokonana przez Doktoranta w formie trzech różnych prototypów oprogramowania. W sposób istotny zwiększa to walory poznawcze oraz aplikacyjne tej koncepcji.

Należy uznać, że główne wyniki swoich rozważań naukowych i ich zastosowanie w praktyce gospodarczej Doktorant wymienia w rozdziałach dotyczących wytwarzania oprogramowania krytycznego dla bezpieczeństwa dla trzech instrumentów pokładowych statków powietrznych.

Jednak ogólne efekty swoich badań Doktorant przedstawia w podsumowaniu (*Conclusions*) na końcu rozprawy. Podsumowanie to zawiera prezentację efektów, które zostały osiągnięte. Do najważniejszych osiągnięć, poza skuteczną, udowodnioną trzema udanymi wdrożeniami koncepcją metodyki zwinnej wytwarzania oprogramowania krytycznego dla bezpieczeństwa w awionice, zaliczyć należy:

- rekomendacje dotyczące zastosowania koncepcji metodyk zwinnych do wytwarzania oprogramowania krytycznego dla bezpieczeństwa w lotnictwie,
- analizę ograniczeń oraz wyzwań dotyczących stosowania metodyki zwinnej przy wytwarzaniu oprogramowania krytycznego dla bezpieczeństwa w lotnictwie,
- identyfikację metodyk zwinnych możliwych do zastosowania przy wytwarzaniu oprogramowania krytycznego w awionice,





- wnioski uzyskane i możliwe do wykorzystania przy doskonaleniu metodyki zwinnej do wytwarzania oprogramowania krytycznego dla bezpieczeństwa dzięki wdrożeniu tej koncepcji w trzech prototypach oprogramowania.

Osiągnięte i przedstawione wyniki wystarczająco dobrze komunikują realizację celów oraz uzyskane odpowiedzi na postawione we wstępie rozprawy cele i pytania badawcze.

Sposób prezentacji oraz zakres wyników badań przedstawionych przez Doktoranta w rozprawie, a szczególnie w jej podsumowaniu oceniam pozytywnie.

## **7. Informacje dotyczące praktycznego zastosowania uzyskanych wyników badań**

Recenzowana rozprawa doktorska powstała w ramach programu doktoratów wdrożeniowych i jego lektura przedstawia wdrożenie koncepcji metodyki zwinnej do wytwarzania oprogramowania krytycznego dla bezpieczeństwa w awionice.

Przedstawione w rozprawie procesy wdrożenia metodyki zwinnej do wytwarzania oprogramowania krytycznego dla bezpieczeństwa w trzech instrumentach pokładowych statków powietrznych stanowią wystarczającą ilustrację skuteczności zastosowania wyników badań naukowych Doktoranta w praktyce gospodarczej.

Doktorant argumentuje, że wdrożone rozwiązania metodyk zwinnych do wytwarzania oprogramowania krytycznego dla bezpieczeństwa sprawiło:

- poprawę wydajności zespołu inżynierskiego,
- zmniejszenie liczby błędów wykrytych podczas testów produktów końcowych,
- lepszy odbiór produktu przez klienta, dzięki możliwości wprowadzania zmian wymagań w trakcie rozwoju produktu.

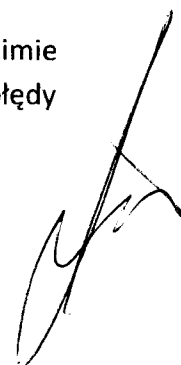
Uzyskanie takich efektów wdrożenia koncepcji Doktoranta w praktykę gospodarczą jest kolejnym dowodem wskazującym zasadność podjęcia przez Niego tej tematyki dociekań naukowych.

W mojej ocenie wdrożenie koncepcji Doktoranta metodyk zwinnych do wytwarzania oprogramowania krytycznego dla bezpieczeństwa oraz w konsekwencji dopuszczenie do używania podczas lotów (s. 111) instrumentów pokładowych wyposażonych w tak stworzone oprogramowanie jest kolejnym istotnym Jego osiągnięciem.

## **8. Informacja o nieprawidłowościach**

Mimo mojej ogólnie pozytywnej oceny recenzowanej rozprawy doktorskiej, nie można nie wspomnieć o usterkach czy zastrzeżeniach występujących w niej:

- a) powtarzające się odwołania do rysunku 3, zamiast do rysunku 4 (s. 38), złe odwołanie do tabeli 4 (s. 51), tabeli 5 (s. 53), rysunku 32 (s. 98) itp.,
- b) drobne błędy składu komputerowego objawiające się np. stosowaniem różnego rodzaju czcionki (np. s. 49), itp.,
- c) zdarzające się tzw. literówki, np.: brak „l” w wyrazie *finally* (s. 19), brak „E” w akronimie Instytutu *IEEE* w pierwszym elemencie rysunku 8 lub w tekście (s. 49), błędy interpunkcyjne itp.



Stwierdzam, że wykazane nieprawidłowości nie mają żadnego wpływu na moją pozytywną ocenę rozprawy doktorskiej.

## 9. Konkluzja

Recenzowana rozprawa doktorska jest wartościową pracą naukową, zarówno pod względem teoretycznym, jak i aplikacyjnym (wdrożeńowym). Wypełnia lukę w warstwie teoretycznej oraz empirycznej w zakresie „dedykowanych” dla lotnictwa rozwiązań, których celem jest wytwarzanie oprogramowania krytycznego dla bezpieczeństwa przy użyciu metodyk zwinnych.

Analiza rozprawy świadczy o właściwych umiejętnościach badań naukowych Doktoranta w zakresie nauk o zarządzaniu i jakości, jak również doboru i wykorzystania odpowiednich źródeł oraz narzędzi badań naukowych w zakresie identyfikacji oraz rozwiązania problemu naukowego.

Przedstawione przeze mnie uchybienia formalne nie wpływają na moją jednoznacznie pozytywną ocenę całości rozprawy.

Recenzowana rozprawa doktorska Pana mgr Pawła Zakrzewskiego w pełni odpowiada wymogom stawianym pracom doktorskim określonym w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. 2018, poz. 1668 ze zm.). Konkluzję tą powziąłem ponieważ **rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, a także prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną Doktoranta w dyscyplinie nauki o zarządzaniu i jakości oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej**, co starałem się wykazać w poprzednich punktach recenzji.

**Na podstawie powyższego wnoszę o dopuszczenie Pana mgr Pawła Zakrzewskiego do obrony rozprawy doktorskiej.**

