

dr hab. inż. Joanna Domańska
Instytut Informatyki
Teoretycznej i Stosowanej PAN
ul. Bałtycka 5, 44-100 Gliwice

Gliwice, 11 lutego 2026 r.

Recenzja rozprawy doktorskiej

mgr Marka Hermansy

pt. "Interpretowalne metody analizy niezawodności i przeżycia z
zastosowaniem do predykcyjnego utrzymania ruchu"

Cel, zakres i charakter rozprawy

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska została wykonana pod kierunkiem naukowym dr hab. Beaty Sikory, prof. Politechniki Śląskiej. Promotorem pomocniczym był dr inż. Łukasz Wróbel.

Rozprawa dotyczy problematyki analizy niezawodności oraz analizy przeżycia w kontekście predykcyjnego utrzymania ruchu czyli przewidywania wystąpienia awarii. Analiza niezawodności zajmuje się problematyką badania trwałości i funkcjonalności systemów technicznych, natomiast analiza przeżycia dotyczy modelowania czasów do wystąpienia zdarzeń medycznych. Oba podejścia stosują podobne metody statystyczne do modelowania procesów czasowych oraz umożliwiają pracę z danymi niepełnymi.

Praca koncentruje się na interpretowalnych modelach w postaci reguł logicznych jako alternatywie dla algorytmów ML oraz tradycyjnych metod statystycznych. Autor rozprawy zauważa brak adaptacji reguł logicznych do analizy przeżycia, podkreśla konieczność prowadzenia badań nad metodami interpretowalnymi przy zachowaniu dobrej skuteczności.

Jako cel rozprawy doktorant wskazał opracowanie interpretowalnych metod analizy niezawodności i przeżycia oraz przedstawienie ich potencjalnej użyteczności w zastosowaniach medycznych oraz w predykcyjnym utrzymaniu ruchu.

W ramach pracy doktorant koncentrował się na rozwoju nowych algorytmów indukcji reguł, uwzględniających specyfikę danych cenzurowanych i łączących tradycyjne techniki analizy przeżycia z regułami logicznymi jako interpretowalnymi modelami uczenia maszynowego.

Autor rozprawy formułuje sześć celów szczegółowych w ramach założonego celu pracy:

1. Rozszerzenie podstaw teoretycznych integracji analizy przeżycia z indukcją reguł.
2. Rozwój pokryciowego algorytmu indukcji przeżyciowych reguł akcji oraz algorytmu rekomendacji opartych na przeżyciowych regułach akcji.

3. Opracowanie algorytmu indukcji przeżyciowych reguł wyjątków umożliwiającego identyfikację nietypowych wzorców w danych cenzurowanych.
4. Stworzenie interpretowalnego zespołu reguł przeżyciowych.
5. Walidacja opracowanych metod na zróżnicowanych zbiorach danych przemysłowych i medycznych.
6. Demonstracja potencjalnej użyteczności zaproponowanych metod poprzez analizę przypadków zastosowań w medycynie oraz w środowiskach przemysłowych.

Cel pracy został jasno sformułowany, a wymienione powyżej cele szczegółowe ułatwiają weryfikację osiągnięcia tego celu w ramach przeprowadzonych badań.

Opierając się na wymienionych celach szczegółowych autor rozprawy sformułował dodatkowo tezę pracy, zakładając, że zastosowanie interpretowalnych metod uczenia maszynowego, w szczególności algorytmów indukcji reguł dostosowanych do specyfiki danych cenzurowanych, umożliwia opracowanie skutecznych i transparentnych narzędzi analizy niezawodności i przeżycia o szerokim zakresie zastosowań, czego potwierdzeniem jest ich potencjalna użyteczność w medycynie oraz w predykcyjnym utrzymaniu ruchu.

Zawartość rozprawy

Forma drukowana recenzowanej rozprawy obejmuje 183 strony. Praca została napisana w języku polskim i składa się z wprowadzenia, pięciu rozdziałów, podsumowania pracy oraz bibliografii. W końcowej części pracy zawarto również wykazy skrótów, rysunków, tabel oraz algorytmów. Tytuł odzwierciedla zawartość pracy, a przyjęty układ pracy jest prawidłowy. Autor rozprawy numeruje rozdziały wliczając do numeracji wprowadzenie oraz podsumowanie.

Wprowadzenie składa się z czterech sekcji. Tekst przed pierwszą sekcją przybliżył pojęcia analizy niezawodności i analizy przeżycia, wyjaśnia charakter danych cenzurowanych oraz wskazuje różnice względem klasycznych problemów klasyfikacji i regresji. Sekcja pierwsza opisuje motywację autora do zajęcia się tematyką rozprawy, formalizując niejako motywację naukową. Autor rozprawy przedstawia tło badawcze pracy oraz identyfikuje lukę w literaturze w obszarze interpretowalnych metod uczenia maszynowego dla analizy niezawodności i przeżycia. Autor omawia ograniczenia klasycznych metod statystycznych oraz nowoczesnych, nieinterpretowalnych algorytmów ML, wskazując na niedostateczny rozwój zaawansowanych metod regułowych (m.in. reguł akcji, reguł wyjątków i zespołów reguł) dla danych cenzurowanych. Sekcja druga zawiera sformułowanie głównego celu pracy, którym jest opracowanie interpretowalnych metod analizy niezawodności i przeżycia oraz wykazanie ich użyteczności w medycynie i predykcyjnym utrzymaniu ruchu. W tej sekcji autor rozprawy opisuje również cele szczegółowe oraz główną tezę pracy, odnoszącą się do możliwości budowy skutecznych i transparentnych narzędzi analitycznych opartych na regułach logicznych dla danych cenzurowanych. W sekcji trzeciej doktorant zwięźle opisuje najważniejsze nowe elementy w pracy, koncentrując się na autorskich algorytmach przeżyciowych reguł akcji, reguł wyjątków oraz interpretowalnych zespołów reguł. Autor rozprawy podkreśla zarówno metodologiczny charakter wkładu, jak i jego znaczenie dla rozwoju interpretowalnych metod analizy przeżycia. Ostatnia, czwarta sekcja wprowadzenia

przedstawia strukturę całej rozprawy. W sekcji tej opisano zwięźle zawartość poszczególnych rozdziałów i ich wzajemne powiązania. Sekcja ta rozgranicza w przejrzysty sposób podstawy teoretyczne od autorskiego wkładu doktoranta.

Rozdział drugi składa się również z czterech sekcji i jest rozdziałem teoretycznym omawiającym problematykę analizy niezawodności i przeżycia w środowisku przemysłowym. Sekcja pierwsza przedstawia strategie eksploatacyjne stosowane w przemyśle. Doktorant porównuje cztery podstawowe podejścia: strategię reaktywną, utrzymanie prewencyjne, utrzymanie oparte na stanie technicznym oraz predykcyjne utrzymanie ruchu. Sekcja druga opisuje technologie i metody wykorzystywane w predykcyjnym utrzymaniu ruchu. Przedstawiono tradycyjne techniki diagnostyczne, takie jak analiza wibracji, termografia, analiza oleju. Sekcja trzecia charakteryzuje specyfikę danych przemysłowych. Autor zwraca uwagę na ich wielowymiarowość, heterogeniczność oraz cenzurowany charakter wynikający z faktu, że nie wszystkie urządzenia ulegają awarii w okresie obserwacji. W sekcji czwartej doktorant opisuje praktyczny przykład zastosowania interpretowalnego modelu – drzewa przeżyciowego – do analizy danych z 15 pomp wirowych. Na podstawie rzeczywistych parametrów eksploatacyjnych (temperatura, obciążenie, wilgotność) pokazano, w jaki sposób można estymować funkcje przeżycia i identyfikować warunki sprzyjające awariom.

Rozdział trzeci jest również rozdziałem teoretycznym. Jego celem jest przedstawienie podstaw analizy niezawodności i analizy przeżycia jako podejścia umożliwiającego modelowanie danych typu czas-do-zdarzenia. W części poprzedzającej podsekcje autor wyjaśnia związek między analizą przeżycia rozwijaną w statystyce medycznej a analizą niezawodności stosowaną w inżynierii. Sekcja pierwsza wprowadza podstawowe pojęcia związane z analizą przeżycia i niezawodności. Sekcja druga poświęcona jest matematycznemu opisowi modeli stosowanych do analizy czasów do zdarzeń. Przedstawiono relacje między funkcją przeżycia, dystrybuantą i funkcją hazardu oraz omówiono najczęściej wykorzystywane rozkłady prawdopodobieństwa (m.in. wykładniczy, Weibulla, log-normalny). Autor pokazuje, w jaki sposób rozkłady te mogą być interpretowane w kontekście procesów degradacji i awarii, wskazując ich praktyczne zastosowania w modelowaniu niezawodności systemów technicznych. Sekcja trzecia prezentuje klasyczne narzędzia statystyczne wykorzystywane w analizie przeżycia. Szczegółowo omówiono estymator Kaplana-Meiera jako podstawową metodę nieparametrycznej estymacji funkcji przeżycia oraz techniki porównywania krzywych przeżycia. Autor opisuje znaczenie tych metod dla praktycznej analizy danych cenzurowanych oraz ich ograniczenia, zwłaszcza w sytuacjach wymagających uwzględnienia wielu zmiennych objaśniających. Sekcja czwarta dotyczy metod pozwalających uwzględniać wpływ dodatkowych zmiennych na czas do zdarzenia. Przedstawiono model proporcjonalnych hazardów Coxa, który umożliwia analizę zależności między cechami obiektów a ryzykiem wystąpienia zdarzenia. Doktorant omawia założenia tego modelu, jego interpretację oraz ograniczenia, takie jak wymóg proporcjonalności hazardów i liniowości efektów.

Rozdział czwarty jest również rozdziałem teoretycznym poświęconym problematyce interpretowalności i objaśnialności w uczeniu maszynowym w kontekście analizy niezawodności i przeżycia. W części poprzedzającej podsekcje autor rozprawy opisuje ogólne znaczenie transparentności modeli predykcyjnych, wskazując, że w zastosowaniach medycznych i przemysłowych zrozumienie mechanizmów decyzyjnych ma kluczowe znaczenie dla akceptacji wyników analiz oraz odpowiedzialności prawnej. Sekcja pierwsza systematyzuje podstawowe pojęcia związane z transparentnością modeli. Doktorant rozróżnia dwa kluczowe terminy: interpretowalność (cecha modeli zrozumiałych z natury) oraz objaśnialność (techniki wyjaśniania decyzji modeli typu „czarna

skrzynka”). Omówiono m.in. konsekwencje stosowania nieinterpretowalnych algorytmów w środowiskach o wysokich wymaganiach bezpieczeństwa i odpowiedzialności. Sekcja druga prezentuje przegląd metod objaśniania decyzji modeli nieinterpretowalnych. Autor omawia podział na techniki globalne i lokalne, przedstawiając najważniejsze podejścia, takie jak analiza ważności zmiennych, metody typu LIME i SHAP czy wizualizacje częściowych zależności. Wskazano ich ograniczenia – przede wszystkim fakt, że dostarczają jedynie wyjaśnień post-hoc, a nie rzeczywistej transparentności mechanizmu decyzyjnego. Sekcja trzecia opisuje modele, które z definicji są interpretowalne. Przedstawiono klasyczne podejścia, takie jak drzewa decyzyjne, modele regresyjne, metody oparte na instancjach oraz reguły decyzyjne.

Rozdział piąty przedstawia autorskie rozwiązania doktoranta oparte na regułach logicznych, przeznaczone do analizy danych cenzurowanych. W tekście poprzedzającym pierwszą podsekcję uzasadniono wybór reguł logicznych jako interpretowalnej alternatywy dla klasycznych metod statystycznych oraz złożonych modeli uczenia maszynowego. Sekcja pierwsza omawia ogólne zasady indukcji reguł logicznych oraz klasyczne algorytmy regułowe stosowane w problemach klasyfikacji i regresji. Doktorant przedstawia podstawowe pojęcia, takie jak reguły decyzyjne, miary jakości reguł, strategie pokryciowe oraz metody selekcji i upraszczania reguł. Sekcja druga prezentuje pierwszy z autorskich algorytmów. Opisano koncepcję reguł akcji, które umożliwiają formułowanie rekomendacji dotyczących zmian atrybutów prowadzących do poprawy prognozowanego czasu przeżycia. Doktorant przedstawia oryginalny pokryciowy algorytm dostosowany do danych cenzurowanych, formalizuje kryteria oceny reguł akcji oraz ilustruje działanie metody na przykładach. Sekcja trzecia rozwija zagadnienie praktycznego wykorzystania reguł akcji. Zaproponowano algorytm rekomendacyjny, który agreguje wygenerowane reguły i rozwiązuje konflikty między nakładającymi się rekomendacjami. Autor rozprawy opisuje sposób łączenia wielu reguł w spójne sugestie decyzyjne oraz przedstawia przykłady ilustrujące proces generowania interpretowalnych rekomendacji. Sekcja czwarta dotyczy drugiego istotnego elementu nowości pracy – reguł wyjątków w analizie przeżycia. Doktorant proponuje oryginalny algorytm identyfikujący nietypowe wzorce w danych cenzurowanych poprzez konstrukcję reguł złożonych z reguły bazowej, referencyjnej oraz wyjątku. Opisano proces sekwencyjnego wyszukiwania wyjątków oraz kryteria ich oceny. Metoda ta umożliwia wykrywanie przypadków odbiegających od typowych zależności, co ma duże znaczenie praktyczne w analizie danych medycznych i przemysłowych. Sekcja piąta wprowadza trzeci autorski kierunek badań – interpretowalne zespoły reguł przeżyciowych. Zaproponowano algorytm łączący idee uczenia zespołowego z transparentnością modeli regułowych. Autor przedstawia podejście oparte na próbkowaniu bootstrap i agregacji funkcji przeżycia, stanowiące alternatywę dla klasycznych lasów losowych. Metoda ta ma na celu poprawę skuteczności predykcyjnej przy jednoczesnym zachowaniu interpretowalności.

Rozdział szósty opisuje walidację metod zaproponowanych w rozprawie. Sekcja pierwsza przedstawia formalne miary i procedury wykorzystywane do oceny jakości modeli przeżyciowych. Omówiono w szczególności wskaźnik Briera jako podstawową miarę błędu predykcji w analizie przeżycia oraz kryteria oceny jakości reguł. Sekcja druga opisuje wykorzystane zbiory danych. Doktorant prezentuje zarówno dane przemysłowe związane z predykcyjnym utrzymaniem ruchu, jak i zbiory medyczne stosowane w analizie przeżycia. Omówiono ich charakterystykę, liczbę obserwacji, stopień cenzurowania oraz typy dostępnych zmiennych. Sekcja trzecia prezentuje wyniki eksperymentów dotyczących pierwszego z autorskich algorytmów. Autor rozprawy analizuje skuteczność generowanych reguł akcji, ich jakość predykcyjną oraz przydatność

w formułowaniu interpretowalnych rekomendacji. Wyniki porównano z metodami referencyjnymi, wykazując praktyczną użyteczność podejścia w zadaniach związanych z danymi cenzurowanymi. Sekcja czwarta zawiera ocenę algorytmu agregującego reguły akcji w spójne rekomendacje decyzyjne. Doktorant bada efektywność mechanizmów rozwiązywania konfliktów między regułami oraz analizuje stabilność i interpretowalność generowanych zaleceń. Przedstawiono przykłady zastosowań w kontekście danych przemysłowych i medycznych. Sekcja piąta przedstawia walidację drugiego z głównych algorytmów autorskich. Przeanalizowano zdolność metody do identyfikacji nietypowych wzorców w danych cenzurowanych oraz oceniono jej skuteczność w wykrywaniu przypadków odbiegających od typowych zależności. Wyniki pokazują, że reguły wyjątków mogą dostarczać wartościowych informacji uzupełniających standardowe modele predykcyjne. Sekcja szósta dotyczy oceny zaproponowanego zespołowego modelu reguł przeżyciowych. Autor rozprawy analizuje, w jakim stopniu agregacja wielu reguł pozwala poprawić dokładność predykcyjną przy zachowaniu interpretowalności. Przedstawiono porównania z klasycznymi metodami zespołowymi oraz wykazano, że zaproponowane rozwiązanie stanowi efektywny kompromis między skutecznością a transparentnością.

Podsumowanie pracy (oznaczone jako rozdział siódmy) zawiera skrócony opis głównych osiągnięć pracy oraz zakres potencjalnych zastosowań. Doktorant wskazuje również otwarte problemy badawcze. Podsumowanie w prawidłowy sposób porządkuje osiągnięcia pracy, podkreślając, że zaproponowane rozwiązania stanowią oryginalne rozszerzenie istniejących metod regułowych. Doktorant zwraca również uwagę na praktyczną użyteczność zaproponowanych algorytmów w dwóch kluczowych obszarach zastosowań: medycynie oraz predykcyjnym utrzymaniu ruchu.

Bibliografia zawarta w rozprawie składa się z 153 pozycji. Spośród nich 12 pozycji pochodzi z ostatnich trzech lat, co stanowi około 8% całej bibliografii. Udział ten należy ocenić jako odpowiedni, biorąc pod uwagę charakter rozprawy, która w znacznym stopniu opiera się na ugruntowanych podstawach teoretycznych analizy przeżycia, metod uczenia maszynowego oraz indukcji reguł logicznych. Cytowane w tekście rozprawy pozycje oraz analiza ich zawartości potwierdzają dostateczną znajomość stanu wiedzy doktoranta - związanego z tematyką rozprawy.

Ocena rozprawy

Rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, poprzez opracowanie nowych, interpretowalnych metod analizy niezawodności i przeżycia, które wypełniają zidentyfikowaną poprawnie przez doktoranta lukę badawczą w obszarze łączącym analizę przeżycia z interpretowalnym uczeniem maszynowym. Do najważniejszych osiągnięć doktoranta należy opracowanie pokryciowego algorytmu indukcji reguł akcji, algorytmu rozszerzającego klasyfikacyjne reguły wyjątków na potrzeby analizy przeżycia oraz algorytmu łączącego interpretowalność modeli regułowych z niezawodnością technik uczenia zespołowego. Hipoteza postawiona w pracy jest prawidłowa, a uzyskane i opisane wyniki potwierdzają osiągnięcie celu pracy.

Autor rozprawy przeprowadził prawidłową analizę stanu wiedzy z zakresu analizy przeżycia, niezawodności, interpretowalnego uczenia maszynowego oraz predykcyjnego utrzymania ruchu. Przegląd literatury zaprezentowany przez doktoranta ma charakter krytyczny i selektywny.

W ramach pracy doktorant proponował autorskie algorytmy stosując klasyczne podejście inżynierii algorytmicznej: analiza problemu → projekt metody → formalizacja

zacja → implementacja → ewaluacja. Zaproponowane algorytmy zostały szczegółowo opisane oraz ilustrowane pseudokodem. Procedura walidacji została zaplanowana rzetelnie i zgodnie z kanonem badań empirycznych w domenie ML. Doktorant przeprowadził testy na rzeczywistych zbiorach danych medycznych i przemysłowych oraz dokonał porównania z metodami referencyjnymi. Oceniając zastosowaną przez doktoranta metodologię badawczą stwierdzam, że zastosowane w rozprawie metody badawcze są dobrze dobrane, łączą podejście teoretyczne z praktycznym oraz odpowiadają współczesnym standardom badań w obszarze uczenia maszynowego i analizy przeżycia.

Istotnym elementem rozprawy jest ewaluacja zaproponowanych metod. Doktorant poświęcił znaczną część rozdziału szóstego szczegółowemu omówieniu kryteriów oceny, uwzględniając specyfikę danych typu czas-do-zdarzenia oraz charakter opracowanych algorytmów. Dobór wskaźników należy uznać za przemyślany. Podstawową miarą oceny modeli predykcyjnych w rozprawie jest wskaźnik Briera, dostosowany do danych cenzurowanych poprzez zastosowanie wagi odwrotnie proporcjonalnej do prawdopodobieństwa nieocenzurowania. Wybór tej miary jest uzasadniony, gdyż umożliwia ona ocenę jakości predykcji probabilistycznych funkcji przeżycia, z uwzględnieniem zarówno trafności, jak i kalibracji modeli. Doktorant nie ograniczył się do punktowej oceny w wybranych momentach czasu, lecz zastosował również zintegrowany wskaźnik Briera (Integrated Brier Score – IBS), stanowiący uśrednioną w czasie miarę błędu predykcji. IBS został wykorzystany jako główne narzędzie porównawcze pomiędzy zaproponowanymi metodami a algorytmami referencyjnymi. Doktorant wykazał się świadomością ograniczeń miar czysto predykcyjnych w przypadku metod eksploracyjnych generujących reguły logiczne. Dla algorytmów indukcji reguł akcji oraz reguł wyjątków zastosowano odrębny zestaw kryteriów, obejmujący m.in.: test log-rank do oceny istotności statystycznej różnic pomiędzy krzywymi przeżycia wyodrębnionych grup, wskaźniki P0.05 i P0.01, określające odsetek reguł statystycznie istotnych oraz miary strukturalne, takie jak liczba reguł, ich średnia długość, pokrycie części źródłowej i docelowej, liczba warunków i akcji. Takie podejście jest w pełni uzasadnione, ponieważ w przypadku modeli regułowych kluczowe znaczenie ma nie tylko dokładność predykcji, lecz również jakość, zrozumiałość i praktyczna użyteczność odkrytej wiedzy. W odniesieniu do algorytmu rekomendacji reguł akcji doktorant wprowadził dodatkowe, specyficzne dla tego problemu wskaźniki: miarę spójności S-alpha, określającą odsetek przypadków, dla których rekomendacja prowadzi do statystycznie istotnej poprawy krzywej przeżycia, średni błąd bezwzględny (MAE) jako pomocniczą miarę ilościową, pokrycie rekomendacji, średnią liczbę akcji na rekomendację oraz odsetek modyfikowanych atrybutów. Zastosowanie powyższych wskaźników świadczy o właściwym rozumieniu praktycznego charakteru problemu rekomendacji.

Autor rozprawy w sposób poprawny metodologicznie stosuje walidację krzyżową typu k-fold do oceny skuteczności zaproponowanych algorytmów, w tym w szczególności interpretowalnego zespołu reguł. W pracy jasno określono konfigurację eksperymentów, liczbę foldów oraz parametry poszczególnych metod. Procedura walidacji uwzględnia specyfikę danych przeżyciowych, co świadczy o właściwym podejściu do problemu oceny modeli w obecności cenzurowania.

Istotnym uzupełnieniem analizy ilościowej zawartej w recenzowanej pracy są elementy jakościowe i interpretacyjne, takie jak wizualizacja krzywych przeżycia Kaplana–Meiera oraz studia przypadków ilustrujące praktyczne zastosowanie wygenerowanych reguł.

Uzyskane przez doktoranta wyniki mają potencjał wdrożeniowy. Opracowane metody analizy niezawodności i przeżycia, oparte na interpretowalnych regułach logicznych

dostosowanych do danych cenzurowanych, mogą być bezpośrednio wykorzystywane w systemach wspomagania decyzji zarówno w środowiskach przemysłowych, jak i w medycynie. W kontekście predykcyjnego utrzymania ruchu zaproponowane algorytmy umożliwiają prognozowanie czasu do awarii, identyfikację warunków zwiększających ryzyko uszkodzeń oraz generowanie interpretowalnych rekomendacji operacyjnych w postaci przeżyciowych reguł akcji. Pozwala to na bardziej racjonalne planowanie przeglądów i remontów, ograniczenie nieplanowanych przestojów oraz optymalizację kosztów eksploatacji. Dodatkowo algorytm reguł wyjątków wspiera identyfikację nietypowych przypadków wymagających indywidualnego podejścia serwisowego. W zastosowaniach medycznych zaproponowane metody mogą służyć do wspomagania decyzji klinicznych poprzez analizę czasu do wystąpienia zdarzeń, takich jak np. nawrót choroby. Interpretowalna forma reguł umożliwia lekarzom zrozumienie czynników wpływających na rokowanie pacjentów, a reguły akcji pozwalają rozważać potencjalne modyfikacje terapii w sposób przejrzysty i uzasadniony. Reguły wyjątków dodatkowo umożliwiają identyfikację pacjentów odbiegających od typowych schematów przebiegu choroby.

Obok licznych zalet rozprawy można wskazać kilka elementów, które w mojej ocenie stanowią jej słabsze strony. Zaproponowane metody mają charakter głównie algorytmiczno-empiryczny; praca nie zawiera szerszej formalnej analizy teoretycznej własności algorytmów ani ich złożoności obliczeniowej. Należy jednak podkreślić, że doktorant sam zauważa ograniczenia swojej pracy. Istotnym elementem podsumowania jest refleksja nad ograniczeniami zaproponowanych rozwiązań. Autor rozprawy wskazuje m.in. na złożoność obliczeniową niektórych procedur, zależność wyników od jakości danych oraz konieczność dalszych badań nad skalowalnością metod. Część koncepcji zaproponowanych w ramach doktoratu opiera się na znanych ideach. Nowość polega głównie na ich adaptacji do danych cenzurowanych. Nie zmienia to jednak faktu, że ta adaptacja wymagała stworzenia nowych metod.

Praca została napisana w sposób przyjazny dla czytelnika, bez zauważalnych dużych niedociągnięć edycyjnych. Czytelność i przejrzystość rozprawy można by było poprawić usuwając drobne powtórzenia treści (zauważalne nawet we wprowadzeniu) oraz korygując dysproporcje między rozdziałami.

Przedstawione w recenzji uwagi i spostrzeżenia mają charakter głównie uzupełniający i nie wpływają na pozytywną ocenę merytorycznej wartości pracy, nie podważają poprawności przyjętej metodologii badań oraz dobrej oceny umiejętności autora do poprawnego i przekonującego przedstawienia uzyskanych przez siebie wyników. Oczekuję jednakże od doktoranta ustosunkowania się do poniższych uwag podczas publicznej obrony pracy doktorskiej:

- Pomimo, że dobór wskaźników oceny w rozprawie jest bardzo dobrze przemyślany, brakuje szerszego uzasadnienia wyboru IBS jako miary porównawczej. Warto, aby doktorant wyjaśnił:
 - dlaczego zdecydował się oprzeć ocenę modeli na IBS,
 - jakie widzi zalety IBS w porównaniu z innymi miarami stosowanymi w analizie przeżycia, np. indeks concordance (C-index) lub czasowo zależne AUC,
 - w jakich sytuacjach IBS może być mniej odpowiedni i jak wpływa to na interpretację wyników.
- W literaturze coraz większą popularność zyskują metody tzw. Deep Survival, oparte na uczeniu głębokim, które często osiągają bardzo wysoką skuteczność

predykcyjną kosztem niskiej interpretowalności. Proszę doktoranta o odniesienie się do następujących kwestii:

- czy rozważano podejście hybrydowe, tzn. np. wykorzystanie głębokich sieci neuronowych do automatycznego uczenia reprezentacji cech, a następnie indukcję interpretowalnych reguł przeżyciowych na tak przetworzonych danych,
- jak w takim podejściu hybrydowym można byłoby zachować kluczowy dla pracy wymóg interpretowalności przy jednoczesnym wykorzystaniu potencjału metod opartych na uczeniu głębokim?

Wnioski końcowe

Recenzowana rozprawa doktorska podejmuje istotny i aktualny problem naukowy, dotyczący opracowania interpretowalnych metod analizy niezawodności i przeżycia dla danych cenzurowanych. Problem ten nie został dotychczas w literaturze rozwiązany w sposób kompleksowy, zwłaszcza w odniesieniu do metod opartych na indukcji reguł logicznych.

Autor zaproponował szereg autorskich rozwiązań metodologicznych, w tym: pokryciowy algorytm indukcji przeżyciowych reguł akcji, algorytm rekomendacji oparty na tych regułach, algorytm indukcji przeżyciowych reguł wyjątków oraz interpretowalny zespół reguł przeżyciowych. Rozwiązania te stanowią rozwinięcie istniejących metod regułowych. Nowatorskie jest dostosowanie do specyfiki danych cenzurowanych.

Wartość pracy potwierdza również fakt, że zaproponowane algorytmy zostały formalnie zdefiniowane, zaimplementowane i poddane walidacji empirycznej na rzeczywistych danych medycznych i przemysłowych. Uzyskane wyniki wykazują, że metody te łączą dobrą skuteczność predykcyjną z wysokim poziomem interpretowalności, co stanowi wartość dodaną w obszarze analizy przeżycia.

W świetle powyższego można jednoznacznie stwierdzić, że rozprawa doktorska mgr inż. Marka Hermansy przedstawia oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, wnosi nowy wkład do rozwoju interpretowalnych metod uczenia maszynowego dla danych cenzurowanych i spełnia w tym zakresie wymagania stawiane pracom doktorskim.

Dysertacja doktorska powinna również potwierdzać ogólną teoretyczną wiedzę doktoranta w danej dyscyplinie oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Przedstawiona rozprawa doktorska w pełni potwierdza ogólną wiedzę teoretyczną doktoranta w dyscyplinie informatyka techniczna i telekomunikacja. Autor rozprawy wykazał się znajomością zagadnień analizy przeżycia i niezawodności, metod regułowych oraz problematyki interpretowalności modeli. Sposób prezentacji podstaw teoretycznych oraz aktualna bibliografia świadczą o dobrym rozeznaniu w aktualnym stanie wiedzy. Rozprawa jednoznacznie dowodzi również umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Doktorant zidentyfikował problem badawczy, zaproponował oryginalne rozwiązania algorytmiczne, przeprowadził ich implementację i weryfikację eksperymentalną, a następnie dokonał krytycznej analizy uzyskanych wyników.

Biorąc pod uwagę powyższe stwierdzam, że niniejsza rozprawa spełnia wymogi ustawowe stawiane pracom doktorskim w *dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych, w dyscyplinie informatyka techniczna i telekomunikacja*, określone w Ustawie z dnia 20 lipca 2018 r. - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (t.j.: Dz.U. z 2018 poz. 1668, z późn.zm.) i wnioskuję o dopuszczenie autora rozprawy do publicznej obrony.