

dr hab. Agnieszka Nowak – Brzezińska, Prof. UŚ
Uniwersytet Śląski
Wydział Nauk Ścisłych i Technicznych
Instytut Informatyki
e-mail: agnieszka.nowak-brzezinska@us.edu.pl

Katowice, 12 lutego 2026 r.

POLITECHNIKA ŚLĄSKA
Biuro Rady Dyscypliny
Informatyka Techniczna i Telekomunikacja
wpłynęło dnia 16.03.2026
nr zał:

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

mgra inż. Marka Hermansy

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

przygotowanej pod kierunkiem

dr hab. Beaty Sikory, prof. PŚ

Uwagi wstępne

Recenzja opracowana została na podstawie pisma Przewodniczącego Rady Dyscypliny Informatyka Techniczna i Telekomunikacja Politechniki Śląskiej Profesora dra hab. inż. Andrzeja Polańskiego, z dnia 28 października 2025 r.

1. Przedmiot rozprawy, aktualność i ważność tematyki rozprawy

Rozprawa poświęcona jest problemowi analizy niezawodności i analizy przeżycia w kontekście danych cenzurowanych, w których obserwacja zdarzenia zostaje przerwana przed jego wystąpieniem z przyczyn niezależnych od badanego procesu. Metody te mają różne pochodzenie i zastosowania. Chociaż analiza niezawodności dotyczy badania trwałości i funkcjonalności systemów technicznych pozwalając na prognozowanie ich żywotności oraz planowanie strategii konserwacji, zaś analiza przeżycia wywodzi się ze statystyki medycznej pozwalając na modelowanie czasów do wystąpienia określonych zdarzeń medycznych, to obie metody bazują na podobnych podstawach matematycznych, statystycznych do modelowania procesów czasowych, w których znaczenie ma obecność danych cenzurowanych. Oba podejścia mają szerokie zastosowanie w różnych dziedzinach nauki i przemysłu. Szczególnie ważnym obszarem zastosowań jest predykcyjne utrzymanie ruchu (ang. Predictive Maintenance), któremu zresztą Doktorant poświęcił sporo uwagi w całej rozprawie. Dane

cenzurowane będące wspólnym obszarem dla obu podejść, w predykcyjnym utrzymaniu ruchu mogą objawiać się tym, że dla części urządzeń nie mamy możliwości obserwowania awarii w analizowanym okresie (urządzenie może nadal działać, może być wymienione profilaktycznie na nowe bądź wycofane z innego powodu i nie znamy ich prawdziwej żywotności). Z kolei w zastosowaniu medycznym, dane cenzurowane mogą np. dotyczyć pacjentów, których stan zdrowia nie jest monitorowany przed pewnym zdarzeniem.

W praktyce wykorzystuje się m.in. modele proporcjonalnych hazardów Coxa, drzewa przeżyciowe i ich zespoły. Każda z tych metod ma swoje ograniczenia, zwłaszcza w zakresie interpretowalności. Brakuje metod, które wprost uwzględniają cenzurowanie, zapewniają wgląd w mechanizm decyzyjny i jednocześnie oferują dobrą skuteczność predykcyjną. W kontekście rozwiązań przemysłowych czy medycznych problem ten nabiera szczególnego znaczenia. Rozwój interpretowalnych metod analizy niezawodności i przeżycia jest kluczowy dla zapewnienia przejrzystości decyzji w krytycznych systemach predykcyjnych, takich jak predykcyjne utrzymanie ruchu w przemyśle oraz prognozowanie przeżycia w medycynie, co bezpośrednio wpływa na bezpieczeństwo, efektywność i zaufanie do modeli AI w praktyce.

Doktorant w toku prowadzonych badań dążył do zaproponowania takich metod analizy niezawodności oraz analizy przeżycia, które pozwalać będą na zrozumiałe generowanie predykcji. Prócz typowo statystycznych, klasycznych metod takich jak estymator Kaplana-Meiera, oraz model Coxa, uwzględnił także metody uczenia maszynowego, skupiając się na podejściach wykorzystujących podejścia regułowe. Reguły logiczne (np. przeżyciowe reguły wyjątków) pozwalają na czytelną reprezentację wiedzy, kontrastując regułę bazową z wyjątkami, co ułatwia weryfikację przez ekspertów w przeciwieństwie do "czarnych skrzynek" o wysokiej skuteczności predykcyjnej, ale niskiej interpretowalności. Popularność podejść typowo hybrydowych skutkuje uwzględnieniem w niniejszej rozprawie także podejścia opartego na zaawansowanych metodach uczenia maszynowego z wykorzystaniem zespołu reguł, które przewyższają proste statystyczne modele, zachowując interpretowalność.

Obserwujemy trend oczekiwań wobec tworzonych narzędzi analitycznych by cechowały się dobrą skutecznością czy interpretowalnością. Tym wyzwaniom niniejsza rozprawa stara się stawić czoła.

Przedłożona rozprawa doktorska koncentruje się na rozwoju nowych algorytmów łączących interpretowalność z dobrą skutecznością predykcyjną, umożliwiającą ekspertom dziedzinowym zrozumienie i weryfikację mechanizmów decyzyjnych. W ramach realizacji głównego celu opracowano cztery oryginalne algorytmy, które stanowią zasadniczy wkład naukowy pracy. Są to kolejno: pokryciowy algorytm indukcji przeżyciowych reguł akcji

(dostarczając wzorce regułowe), algorytm rekomendacji, algorytm przeżyciowych reguł wyjątków oraz interpretowalny zespół reguł przeżyciowych agregujący modele regułowe. Tak zaproponowane rozwiązanie pozwala śledzić uzasadnienia decyzji na poziomie reguł dostosowując się do specyfiki danych cenzurowanych, stanowiąc rozwiązania nowe bądź rozwijające istniejące nurty metod regułowych.

Biorąc pod uwagę zawartość rozprawy uważam, że główna teza rozprawy, z godnie z którą 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, między innymi w medycynie oraz w predykcyjnym utrzymaniu ruchu, została potwierdzona.

2. Zawartość rozprawy

Łączna objętość przedłożonej do recenzji pracy wynosi 183 strony. Tekst rozprawy podzielono na 7 rozdziałów. W rozdziale 1 przedstawiono główne założenia prowadzonych badań. Rozdział 2 wprowadza w tematykę związaną z analizą niezawodności i przeżycia w środowisku przemysłowym. Podstawy teoretyczne przedstawiono w rozdziale 3, gdzie poza podstawowymi pojęciami, poznajemy także klasyczne metody analizy przeżycia i analizy niezawodności. Rozdział 4 obejmuje problematykę objaśnialności i interpretowalności w uczeniu maszynowym, w odniesieniu do predykcyjnego utrzymania ruchu. Rozdział 5 stanowi w mojej ocenie najważniejszą treść w rozprawie, przedstawiając cztery algorytmy opracowane w ramach pracy doktorskiej, uwzględniając formalny opis matematyczny oraz pseudokody tychże algorytmów. Rozdział 6 to prezentacja wyników eksperymentów. Rozdział ten cechuje wysoka przejrzystość prezentowanych wyników ale także interpretacji osiągniętych rezultatów badań. Pracę kończy podsumowanie, w którym Doktorant zadbał o syntetyczne omówienie założonych celów na tle osiągniętych wyników, podkreślając wkład w dziedzinę, której rozprawa dotyczy.

Podsumowując, w mojej ocenie struktura przedłożonej rozprawy doktorskiej jest w pełni poprawna, a układ rozdziałów wyczerpuje podjętą problematykę badawczą, czyniąc pracę konstrukcją kompletną i spójną.

3. Oryginalne osiągnięcia

Oryginalny dorobek rozprawy przedstawiono w rozdziale 5 rozprawy. Do dorobku tego należy zaliczyć:

- Zaproponowany pierwszy w literaturze pokryciowy algorytm indukcji reguł akcji, umożliwiający zastosowanie strategii sekwencyjnego pokrywania do danych cenzurowanych, oraz komplementarny algorytm rekomendacji, który wykorzystuje wygenerowane reguły akcji do tworzenia interpretowalnych rekomendacji poprzez rozwiązywanie konfliktów między pokrywającymi się regułami.
- Oryginalny algorytm indukcji przeżyciowych reguł wyjątków, stanowiący rozszerzenie klasyfikacyjnych reguł wyjątków na potrzeby analizy przeżycia, który indukuje reguły złożone z trzech elementów (reguły bazowej, reguły referencyjnej oraz reguły wyjątku) i wykorzystuje sekwencyjne wyszukiwanie wyjątków w procesie indukcji reguł.
- Interpretowalny zespół reguł przeżyciowych, łączący interpretowalność modeli regułowych z niezawodnością technik uczenia zespołowego, który rozszerza paradygmat lasów losowych poprzez zastąpienie drzew decyzyjnych modelami reguł przeżyciowych z wykorzystaniem próbkowania bootstrap i agregacji funkcji przeżycia.

Przedstawione w pracy algorytmy stanowią pierwsze tak kompleksowe badania w zakresie pokryciowych algorytmów indukcji reguł akcji, reguł wyjątków oraz zespołów reguł stosowanych do analizy przeżycia i otwierają w ten sposób nowy kierunek badań w obszarze łączącym interpretowalne uczenie maszynowe z analizą niezawodności i przeżycia, dostarczając podstaw do budowy narzędzi dla ekspertów dziedzinowych i wyznaczając punkt wyjścia dla dalszych prac badawczych w tej dziedzinie.

Pewnym globalnym miernikiem uznania istotności prac Autora mogą być indeksy bibliometryczne, tj. liczba punktów przyznanych publikacji, wskaźnik Impact Factor czy licznik cytowań. Doktorant nie umieścił w rozprawie doktorskiej listy swoich publikacji, co zmusiło recenzenta do korzystania wyłącznie z danych dostępnych w źródłach internetowych. Brak aktywnych profili w bazach ORCID, Web of Science czy Google Scholar znacząco utrudnił uwzględnienie pełnego dorobku publikacyjnego w ocenie rozprawy. Docierając poprzez osobę promotora czy innych współautorów publikacji udało się ustalić, że w dorobku tym znajduje się 7 publikacji.

Oceniając całościowo dorobek rozprawy stwierdzam, że Doktorant w sposób systematyczny zrealizował zaplanowane badania oraz ocenił ich wyniki, wystarczająco dobrze je dokumentując. Wyniki przeprowadzonych prac badawczych zostały opublikowane w artykułach naukowych m.in. w przypisanych do dyscypliny Informatyka Techniczna i Telekomunikacja czasopismach *Applied Sciences* (100 pkt. MNiSW), *Knowledge-Based Systems* (200 pkt. MNiSW). Dorobek ten uzupełniają artykuły opublikowane w materiałach konferencyjnych oraz rozdziały w monografiach naukowych. Uzyskanie pierwszego autorstwa w 3 publikacjach (43% dorobku) dowodzi istotnego, samodzielnego wkładu doktoranta w rozwój tematu, co wyróżnia rozprawę pod względem aktywności naukowej i kompetencji badawczych. Dotychczasowe prace kandydata były cytowane łącznie 42 razy wg Scopus, z indeksem Hirscha na poziomie 4. Niestety w bazach Web of Science bądź ORCID, czy Scholar Google nie ma możliwości pozyskania informacji o dorobku Doktoranta. Doktorant nie posiada aktywnego profilu w bazie ORCID ani Google Scholar, co znacząco ogranicza popularyzację jego osiągnięć naukowych i szansę na cytowania publikacji. Rekomenduję założenie i aktualizację tych profili (z powiązaniem prac z doktoratu), aby ułatwić przyszłą ewaluację i współpracę międzynarodową – to standard w naukach ścisłych, wspomagający rozwój kariery. W polskim systemie (zgodnym z ustawą 2.0) takie profile wspierają ewaluację parametryczną.

W związku z powyższymi osiągnięciami można stwierdzić, że wszystkie cele postawione w rozprawie zostały osiągnięte. Realizacja ww. celów stanowi potwierdzenie tezy postawionej w niniejszej rozprawie.

4. Analiza źródeł

Doktorant wykazał się dobrą znajomością dorobku literaturowego dotyczącego zagadnień, którym rozprawa jest poświęcona. Bibliografia liczy 153 pozycje, z czego około 40% stanowią prace z ostatnich 10 lat. Taki dobór literatury potwierdza dostateczną wiedzę Doktoranta w obszarze badawczym rozprawy doktorskiej i należy ocenić go pozytywnie.

5. Wady i słabe strony rozprawy, uwagi dyskusyjne

Treść rozprawy, użyty język, sposób prezentacji wyników, a także sformułowane wnioski, które cechuje ceniona zwięzłość i przejrzystość, świadczą o wysokich

umiejętnościach Autora do poprawnego i przekonującego przedstawienia uzyskanych wyników.

Chociaż cele pracy zostały zrealizowane, a postawiona teza została udowodniona, rozprawa posiada również swoje słabe strony. Wśród najważniejszych uwag dyskusyjnych wymienić należy:

- a) W rozdziale 6 zaprezentowano imponująco obszerne wyniki eksperymentów, co świadczy o znacznym nakładzie pracy. Brakuje jednak informacji o narzędziach obliczeniowych (np. frameworkach, wersjach bibliotek lub odnośniku do własnej implementacji). W kontekście dyscypliny informatyka techniczna i telekomunikacja jest to istotne uzupełnienie, umożliwiające pełną ocenę i reprodukcję wyników. Jeśli Doktorant jest autorem publicznie dostępnego narzędzia, wyraźne wskazanie tego pozwoliłoby dodatkowo docenić jego wkład naukowy i praktyczny. Nie podano informacji, które narzędzie pozwoliło na generowanie wszystkich wykresów umieszczonych w sekcji eksperymentów. Jeśli Doktorant jest autorem dedykowanego narzędzia to kluczowym pytaniem jest także wskazanie ewentualnych perspektyw wdrożeniowych (np. open source, komercjalizacja). Taki szczegół znacząco wzmocniłby ocenę praktycznego znaczenia dorobku.
- b) Rozdział 5 stanowi istotny element rozprawy, opisując proponowane algorytmy i rozwiązania. Brakuje w nim schematu metodologii wizualizującego przebieg procesu (od pierwszego kroku do końca) oraz końcowego podsumowania podkreślającego kluczowe założenia i atuty rozwiązania. Takie uzupełnienia znacząco ułatwiłyby zrozumienie spójności propozycji, wzmacniając ocenę wkładu Doktoranta.
- c) Jako, że praca dotyczy dyscypliny informatyka spodziewałam się nieco większego wkładu Autora w zagadnienia związane z analizą proponowanych algorytmów w zakresie np. złożoności obliczeniowej (jako kryterium pozwalającego ocenić wagę danego algorytmu). Ocena złożoności zaproponowanych algorytmów w mojej ocenie jest kluczowa dla zastosowań tychże. To zawsze istotny element prac naukowych zwłaszcza jeśli rozmiar zbioru danych i jego struktura przekładają się na złożoność modelu.
- d) Proponowane rozwiązania wykorzystują szereg parametrów. W poszczególnych sekcjach rozdziału 6 widzimy wyniki, które prezentowane są dla wybranych wartości parametrów np. w sekcji 6.3. są to odpowiednio: τ = dowolna, ξ = 0,1,

$\mu=30$ czy $\rho=0,5$, jednak nie zostało doprecyzowane jak sterowano parametrami, czy użyto wielu różnych kombinacji a przedstawiono jedynie te ustawienia dla których wyniki były optymalne?

e) W rozdziale 6 widzimy prezentacje wyników osobno dla zbiorów typowo przemysłowych związanych z tematyką PdM, oraz medycznych. Patrząc na rozkład atrybutów w obu grupach zbiorów danych daje się zauważyć, że w przypadku zbiorów medycznych odsetek zbiorów z przeważającą liczbą atrybutów kategorycznych jest znaczący (9 na 16 zbiorów ma więcej cech kategorycznych niż numerycznych). W zbiorach przemysłowych większość z 11 zbiorów nie ma w ogóle cech kategorycznych a dla tych zbiorów, które je posiadają, są one i tak w mniejszości (cechy kategoryczne występują tylko w 3 z 11 zbiorów, ale i tak liczba tych cech jest mniejsza niż cech numerycznych). To rodzi pytanie o to jak bardzo liczba atrybutów ze skalą jakościową wpływa na indukcję reguł w proponowanych rozwiązaniach. Czy takie badania przeprowadzono?

f) Błędy edycyjne/redakcyjne:

- W pracy występują obiekty graficzne (np. Tabela 6.2. czy 6.4 bądź Algorytm 6), do których autor w ogóle nie odwołuje się w tekście głównym. Zgodnie z metodologią pisania prac naukowych, tak ważne elementy powinny zostać przywołane i krótko omówione. Pozostawienie „niezakotwiczonych” w tekście ilustracji/tabel/spisów obniża spójność wyводу i sprawia wrażenie braku należytej staranności w redakcji ostatecznej wersji dysertacji.
- W sferze redakcyjnej przedłożonej rozprawy należy zwrócić uwagę na systematyczny błąd w formatowaniu obiektów graficznych. Doktorant umieszcza tytuły tabel poniżej ich treści, co jest niezgodne z powszechnie przyjętymi standardami edytorskimi prac naukowych oraz zasadami składu tekstu. O ile podpisy rysunków i schematów słusznie znajdują się pod nimi, o tyle nagłówki tabel umieszcza się nad tabelą, aby zapewnić czytelnikowi właściwy kontekst przed analizą danych liczbowych. Uwaga dotyczy wszystkich tabel umieszczonych w rozprawie.
- W tabelach prezentujących wyniki (rozdział 6) autor stosuje kropkę jako separator dziesiętny. W rozprawie pisanej w języku polskim standardem jest użycie przecinka.
- Warto zadbać o większą dyscyplinę w posługiwaniu się skrótami i nazewnictwem metod. Doktorant do określenia predykcyjnego

utrzymaniu ruchu wprowadza najpierw na stronie 6 skrót PdM (i taki też ujmuje w słowniczku skrótów na końcu pracy), po czym na stronie 25 stosuje skrót PDM.

- Błędy literowe/stylistyczne:
 - Strona 11: “sieciach neuronowych” zamiast “sieci neuronowych” (linia 21),
 - Strona 28: “pojawia się gdy” zamiast “pojawia gdy” (linia 10),
 - Strona 35: “podejścia statystyczne” zamiast “statystycznych” (linia 5 w sekcji 3.4),
 - Strona 41: Zły styl w zdaniu “Bez wiedzy o tym, na podstawie jakich zmiennych model lub wzorców model estymuje wysokie prawdopodobieństwa”, powinno być “Bez wiedzy o tym, na podstawie jakich zmiennych lub wzorców model estymuje wysokie prawdopodobieństwa”,
 - Strona 44: “Najważniejsze metody w tej kategorii” zamiast “Do najważniejszych metody...”,
 - Strona 61: “połączenia” zamiast “połączenie” (linia 6, w sekcji 5.2.),
 - Strona 64: “jakości” zamiast “jakość” (linia 1),
 - Strona 114: “utrzymaniem ruchu” zamiast “utrzymania” (linia 7),
 - Strona 114: “reprodukowalności” zamiast “reprodukowalność” (ostatnia linia),
 - Strona 146,147: W całej pracy stowoane są skróty, dla Random Survival Forest skrót RSF po czym na stronie 146 widzimy pełną nazwę będącą sklejeniem RandomSurvivalForest. To samo dotyczy SR (Survival Rules na stronie 147),
 - Strona 148: “reprezentację” zamiast “reprezentacją” (linia 19).

6. Wniosek końcowy

W podsumowaniu stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr inż. Marka Hermansy, mimo pewnych uwag krytycznych, spełnia wymagania stawiane kandydatom do stopnia naukowego doktora, określone w art. 187 ust. 1 i 2 Ustawy z dnia 20 lipca 2018r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. z 2020r. poz. 85, z późn. zm.). W mojej ocenie zawiera oryginalne rozwiązanie problemu naukowego. Doktorant osiągnął postawione cele, wykazując się niezbędną wiedzą teoretyczną w dyscyplinie „Informatyka techniczna i telekomunikacja” i umiejętnościami w zakresie prowadzenia badań naukowych z wykorzystaniem metod informatycznych. Wnoszę zatem o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

dr hab. Agnieszka Nowak – Brzezińska, Prof. UŚ

Uniwersytet Śląski, Wydział Nauk Ścisłych i
Technicznych, Instytut Informatyki