

Gliwice, 10 kwietnia 2024

Dr hab. inż. Dariusz Mrozek, prof. PS
Katedra Informatyki Stosowanej
Politechnika Śląska w Gliwicach
ul. Akademicka 16
44-100 Gliwice

RECENZJA

rozprawy doktorskiej dla
Rady Naukowej Dyscypliny
Informatyka Techniczna i Telekomunikacja
działającej
w Politechnice Rzeszowskiej

Tytuł rozprawy: Redukcja niespójności w macierzach porównań parami i nowy algorytm generowania losowych macierzy porównań parami o zadanym zakresie współczynników niespójności – FAST-PCM

Autor rozprawy: mgr inż. Paweł Kuras

1. Charakterystyka zagadnienia naukowego i charakter rozprawy

Przedstawiona przez Pana Pawła Kurasia rozprawa doktorska jest poświęcona problematyce redukcji niespójności w macierzach porównań parami, które są używane w wielokryterialnych procesach podejmowania decyzji. Główne cele i założenia rozprawy koncentrują się wokół rozwiązania tego problemu przy pomocy technik iteracyjnych oraz algorytmów uczenia maszynowego oraz poprawy wydajności generowania losowych macierzy porównań o zadanym zakresie współczynników spójności. W swojej pracy Autor przedstawił analizę iteracyjnych algorytmów redukcji niespójności dla różnych przedziałów współczynnika spójności CR , które następnie zaimplementował w autorskim narzędziu *REDUCE* do wspomagania podejmowania decyzji, w którym udostępnił wybrane literaturowe algorytmy redukcji niespójności. Zarówno teza oraz cele pracy, jak i motywacja prowadzonych badań w tym obszarze zostały sformułowane w sposób jasny. Charakter rozprawy określiłbym jako **eksperymentalno-wdrożeniowy**. Autor oparł swoje rozwiązanie na znanych algorytmach redukcji niespójności, wprowadził do procesu redukcji niespójności rozwiązania bazujące na uczeniu maszynowym, zaproponował także własne podejście do generowania losowych macierzy porównań parami z określonym zakresem wartości współczynnika spójności w postaci algorytmu FAST-PCM, redukując czas potrzebny na generację losowych macierzy porównań parami. Dla potwierdzenia słuszności przyjętych rozwiązań Autor przeprowadził szereg badań eksperymentalnych weryfikujących wydajność, skuteczność i skalowalność wybranych

WPŁYNEŁO

25. KWI. 2024



technik dla zadanych wielkości macierzy i wymagań co do możliwego poziomu niespójności, które pomogły mu z jednej strony dobrać odpowiednie algorytmy w poszczególnych fazach implementacji narzędzi, a także zweryfikować postawioną hipotezę badawczą.

2. Umiejscowienie problemu rozpatrywanego w rozprawie w kontekście światowej literatury

Analiza światowej literatury i bieżącego stanu wiedzy w omawianym obszarze zostały przeprowadzone w sposób wystarczający i świadczą o dostatecznej wiedzy Autora w tej dziedzinie. Pokazują one ponadto, że problem podjęty w przedłożonej rozprawie jest istotny i wart dalszych badań. Szczególną uwagę zwraca Autor na wyzwania związane z koniecznością budowania wielu dużych macierzy porównań parami, które są ważnym komponentem wielokryterialnych metod podejmowania decyzji, przy jednoczesnym dążeniu do zachowania preferencyjnego współczynnika spójności, co w konsekwencji prowadzi do realizacji długiego procesu kalkulacji i rosnącego zapotrzebowania na moc obliczeniową. Autor wskazuje również na brak analizy różnic pomiędzy algorytmami redukcji niespójności w odniesieniu do stopnia niespójności i rzędu macierzy porównań parami. Przeprowadzony przez Autora przegląd wiedzy w zakresie pokrewnych rozwiązań przedstawiony w szczególności w rozdziale 1 i 2 rozprawy pozwoliły mu w sposób jasny i przekonujący sformułować wnioski dotyczące istniejących podejść do problemu wielokryterialnego podejmowania decyzji oraz algorytmów redukcji niespójności w macierzach porównań parami, a także określić ich wady i zalety, co w konsekwencji umożliwiło ukierunkowanie prowadzonych prac badawczych na obszary minimalizacji niespójności i poprawy jakości ocen w procesie podejmowania decyzji.

3. Układ pracy i charakterystyka rozdziałów

Na rozprawę składa się sześć rozdziałów, które całościowo ujmują tematykę rozprawy. Poprzedza je wprowadzenie zawierające tezę i cele pracy, a kończy podsumowanie.

Rozdział 1 zawiera ogólne wprowadzenie do tematyki pracy, motywując podjęty w trakcie realizacji tematu cel, definiuje macierze porównań parami, spójność macierzy, problem wielokryterialnego podejmowania decyzji, omawia także metody ustalania priorytetów w macierzach porównań parami, metody wielokryterialnego podejmowania decyzji, wskaźniki i współczynniki spójności oraz indeksy niespójności używane do jej oceny, wreszcie algorytmy redukcji niespójności.

Rozdział 2 wprowadza i definiuje podstawowe miary zachowania preferencji macierzy porównań parami, które są następnie użyte w badaniach porównawczych iteracyjnych algorytmów redukcji niespójności w małych i dużych macierzach porównań parami dla dużej próby losowych niespójnych macierzy, w których wartości zostały wylosowane z podstawowej skali Saaty'ego. Oceny algorytmów dokonano dla niskich oraz wyższych współczynników spójności CR oraz typowych (literaturowych) rzędów macierzy 4 i 8. Algorytmy były oceniane w kontekście zachowania oryginalnych preferencji. Sprawdzone również korelację wyników działania algorytmów względem poszczególnych miar zachowania preferencji. W końcowej części rozdziału przedstawiono autorskie narzędzie $PCM-CR$, w którym zaimplementowano wybrane algorytmy redukcji niespójności, umożliwiające przeprowadzenie przedstawionych badań.

WYKONANO

10.05.2024 r.

DM

Rozdział 3 jest poświęcony zaimplementowanemu przez Autora modułowi *REDUCE.py*, który udostępnia trzy literaturowe algorytmy redukcji niespójności (Cao et al., Xu i Wei oraz Szybowskiego) z grupy metod iteracyjnych. W rozdziale zaprezentowano strukturę oprogramowania wraz z opisem funkcji głównych i pomocniczych. Przedstawiono także złożoność obliczeniową poszczególnych implementacji metod i algorytmów, wykonane testy jednostkowe, a także wyniki eksperymentów dotyczących czasów wykonania, zużycia pamięci, skalowalności oraz szybkości zbieżności zaimplementowanych algorytmów redukcji niespójności. Badania pozwoliły stwierdzić, które z algorytmów pozwalają na szybką realizację procesu redukcji niespójności dla różnych rozmiarów macierzy wejściowych oraz z jakim obciążeniem jest to związane.

Rozdział 4 zawiera inżynierskie elementy przeprowadzonych prac, przedstawiając opis zaimplementowanego internetowego narzędzia *REDUCE*, które wspomaga proces podejmowania decyzji poprzez zastosowanie macierzy porównań parami oraz redukcję niespójności z użyciem dwóch algorytmów, tj. Xu i Wei oraz Szybowskiego. W rozdziale dokonano szerokiego uzasadnienia wybranych technologii informatycznych dla narzędzia *REDUCE*, analizy budowy aplikacji z opisem warstw aplikacji i zaimplementowanych funkcji realizujących wymagane funkcjonalności, a także rozwiązań serwerowych i administracyjnych. Przedstawiono także wyniki testów zgodności, bezpieczeństwa i wydajności aplikacji oraz testów walidacyjnych poprawności budowy aplikacji, opierając się na obowiązujących standardach. Końcowa część zawiera opis ścieżek dalszego rozwoju oprogramowania i możliwości jego wdrożenia i komercjalizacji.

Rozdział 5 rozprawy wprowadza natomiast ciekawe podejścia do procesu redukcji niespójności oparte na metodach uczenia maszynowego (ML). W rozdziale w pierwszej kolejności dokonano rozeznania i porównania różnych algorytmów uczenia maszynowego, które mogłyby znaleźć zastosowanie w omawianej problematyce redukcji niespójności, a następnie w oparciu o wyniki porównań w kontekście zdefiniowanych kryteriów dobrano odpowiednią grupę algorytmów do badań. W przyjętym rozwiązaniu zastosowano wyselekcjonowane wstępnie techniki regresji, a następnie przeanalizowano miary, w oparciu o które badana będzie efektywność wybranych metod. Przedstawiono następnie metodykę badań nad redukcją niespójności opierając się na wybranych algorytmach uczenia maszynowego oraz wyniki osiągnięte przez każdy z nich. W wyniku badań i analizy błędów *MAE* i *MSE* oraz wartości współczynnika determinacji R^2 Autor stwierdził, iż największy potencjał zastosowania ma metoda oparta na drzewach regresyjnych.

Rozdział 6 opisuje algorytm *FAST-PCM* do generowania losowych macierzy porównań parami o danej wielkości i dla zadanego przedziału wartości współczynnika spójności. Krótko opisano w nim również narzędzie *PC MATRICES GENERATOR*, które udostępnia przyjazny interfejs użytkownika do tego samego celu. Przedstawiono także wyniki badań wydajnościowych pokazujące, iż algorytm *FAST-PCM* jest w stanie generować macierze porównań parami szybciej od standardowo stosowanego podejścia opartego na odrzucaniu macierzy o poziomie niespójności wykraczającym poza zadany przedział. Zweryfikowano również przydatność algorytmów redukcji niespójności dla generowania losowych macierzy o różnym rozmiarze.

4. Poprawność rozwiązania i przyjętych założeń

Na początku realizacji rozprawy Pan Paweł Kuraś zdefiniował cele rozprawy, do których realizacji konsekwentnie dążył w swoich pracach badawczych. Dotyczyły one w ogólnym ujęciu uproszczenia procesów wielokryterialnego podejmowania decyzji i zbadania i możliwości automatyzacji tych procesów. W swoich pracach Autor oparł się na znanych z literatury naukowej algorytmach iteracyjnych o uznanej efektywności. Analizie wydajności poddano (rozdział 2) metody poprawy spójności w systemach decyzyjnych, takie jak Cao et al. (w dwóch wariantach), Mazurek et al., Szybowskiego, Xu and Wei (w dwóch wariantach). W porównaniu działania algorytmów użyto miar oceny zachowania preferencji – średniej zmiany wektora priorytetów d , odległości tau Kendalla, odległości dwóch macierzy D oraz liczby elementów macierzy, które uległy przekształceniu w wyniku prowadzenia procesu redukcji niespójności N . O ile w większości przypadków do pomiaru niespójności w macierzach porównań parami Autor używał zdefiniowanych przez Saaty'ego wskaźnika spójności CI i współczynnika spójności CR , monitorowane były również inne miary – m.in. indeksy Koczkodaja, Golden-Wang, Palaez-Lamata, wskaźnik spójności geometrycznej GCI , wskaźnik błędu względnego REI , wskaźnik spójności harmonicznej HCI , oraz wektor priorytetów. Autor przeprowadził (rozdział 5) szerokie studium zasadności użycia technik uczenia maszynowego w kontekście redukcji niespójności macierzy porównań parami z wyborem odpowiedniej grypy algorytmów do badań. Wybór Autora padł na techniki regresji ze względu na charakter problemu, przetwarzanych danych, celów badań i ograniczeń dot. dostępnych zasobów i czasu realizacji zadania. Wyselekcjonowane algorytmy porównano biorąc pod uwagę typowe miary stosowane do określenia błędów predykcyjnych, tj. błąd średniokwadratowy MSE , średni błąd bezwzględny MAE i współczynnik determinacji R^2 . Na podstawie lektury wyników eksperymentów przedstawionych w rozdziałach 2-6 rozprawy można stwierdzić, iż postawione w rozprawie cele udało się osiągnąć, a omawiane zagadnienia zostały rozwiązane w sposób właściwy lub pozwalający sądzić o przydatności rozwiązania w procesach podejmowania decyzji. Autor osiągnął to poprzez: 1) analizę istniejących metod w kontekście przetwarzania macierzy porównań parami o różnych rozmiarach, 2) dobór odpowiednich metod należących do grupy algorytmów iteracyjnych oraz opartych na uczeniu maszynowym technik regresyjnych, 3) badania eksperymentalne weryfikujące przydatność opracowanych rozwiązań w zaimplementowanych narzędziach. Wyniki przeprowadzonych przez Autora rozprawy badań potwierdziły, iż założenia co do możliwości realizacji każdego z zadań, redukcji niespójności i generowania macierzy, okazały się słuszne i uzasadnione. W rozprawie Autor udowodnił m.in., iż hybrydyzacja procesu generowania losowych macierzy porównań parami z procesem redukcji niespójności, prowadzi do poprawy wydajności całościowego procesu generowania poprzez zmniejszenie liczby eliminowanych macierzy niespełniających zadane kryteria wartości współczynnika spójności CR .

5. Oryginalność rozprawy i wartość rezultatów na tle literatury światowej

Przedstawiona rozprawa stanowi bardzo dobre uzupełnienie bieżącego stanu wiedzy światowej w zakresie tworzenia rozwiązań wspomagających podejmowanie decyzji w oparciu o macierze porównań parami. Pan Paweł Kuraś zaproponował ciekawe, oparte na algorytmach iteracyjnych i metodach sztucznej inteligencji

podejścia w zakresie efektywnej redukcji niespójności i masowego generowania macierzy porównań parami o różnych rozmiarach, a także przeprowadził proces ich wnikliwej oceny.

Podjęcie i rozwiązanie problemów redukcji niespójności w macierzach porównań parami w oparciu o modele uczenia maszynowego, a także szybki algorytm generowania losowych macierzy porównań parami hybrydujący algorytmy redukcji niespójności Szybowskiego i Xu i Wei uważam za istotne osiągnięcie Autora i zaliczam do oryginalnych wyników przedstawionych w rozprawie. Dodatkowo przygotowanie do wdrożenia rozwiązania w rozwijanej aplikacji internetowej uważam za wartościowy element realizowanej rozprawy. Wyniki przeprowadzonych prac badawczych zostały opublikowane w artykułach naukowych m.in. w przypisanych do dyscypliny Informatyka Techniczna i Telekomunikacja czasopismach *Advances in Science and Technology-Research Journal* (100 pkt. MNiSW) i *IEEE Access* (100 pkt. MNiSW). Dorobek ten uzupełniają artykuły opublikowane w materiałach konferencyjnych oraz rozdziały w monografiach naukowych. Potwierdza to zainteresowanie wynikami prowadzonych przez Autora prac badawczych oraz samą dziedziną.

6. Poprawność rozprawy i prezentacja wyników badań

Realizując pracę Pan Paweł Kuraś wykazał dobre opanowanie umiejętności przedstawiania uzyskanych przez siebie wyników. Silną częścią pracy jest w mojej opinii część analityczna i eksperymentalna (części rozdziałów 2-6). Idee działania algorytmów i opisy eksperymentów zostały zaprezentowane w sposób dość jasny, a lista skrótów i użytych oznaczeń i symboli na początku rozprawy pozwalają szybko przypomnieć sobie znaczenie niektórych z nich i zrozumieć sedno treści. Poza tym pierwsze rozdziały (1 i 2) pozwalają czytelnikowi dobrze odnaleźć się w tematyce rozprawy, a w kolejnych przedstawiono własne rozwiązania i wyniki przeprowadzonych prac badawczych (rozdziały 3-6). Oceny efektywności rozwiązania dokonano z wykorzystaniem powszechnie stosowanych miar skuteczności i wydajności. Wyniki oceny efektywności opracowanych rozwiązań zostały przeanalizowane i skomentowane w rozdziałach 2-6 przedłożonej rozprawy, pokazując w jaki sposób udowadniają one słuszność postawionej hipotezy badawczej i pozostałych stwierdzeń. Od strony redakcyjnej rozprawa jest napisana w dość dobrym stylu i czyta się ją płynnie.

7. Słabe strony rozprawy i jej główne wady

Przedstawiona rozprawa jest ciekawa i dotyczy istotnych problemów wielokryterialnego wspomaganie decyzji. Zawiera ona najważniejsze konkluzje wypływające z przeprowadzonych prac badawczych, a część eksperymentalna pokazuje, iż opracowane rozwiązanie istotnie może służyć zamierzonym celom. Nie jest ona jednak pozbawiona pewnych uchybień lub niejasności, które szczegółowo omawiam poniżej:

- 1) Wnioski w rozdz. 1.6 wnoszą niewiele, większość tekstu to w zasadzie streszczenie rozdziału, które nadawałoby się bardziej na początek do sekcji *Abstract*. Przydałyby się tu raczej stwierdzenia

i wskazówki dotyczące przydatności podanych metod i wskaźników i ich potencjalnego wykorzystania w rozwiązaniu problemu przedstawionego w rozprawie w dalszej jej części.

- 2) Paragraf tekstu pod Tabelą 1.1 zawiera bardzo pobieżne wnioski dotyczące doboru skali do prowadzenia porównań parami, nie określono natomiast w jakim kontekście były prowadzone procesy decyzyjne (np. w tym samym czy w innym).
- 3) Nie mam przekonania do poprawności zapisu matematycznego $A \in A$ i $A' \in A$ w Definicji [35] w rozdziale 2.2 na str. 47. Jeśli A jest macierzą, to dla zbioru macierzy powinniśmy użyć innego symbolu np. Ω_A .
- 4) W rozdz. 3.6.1 w odniesieniu do wyników z Tabeli 3.2 i rys. 3.3, dużo pojawia się tu ogólnych wniosków o zaletach utworzonej biblioteki, natomiast tu raczej przydałyby się komentarze odnośnie osiągniętych wyników (czasu wykonania) i jego przyrostu wraz z rosnącym rozmiarem macierzy w kontekście np. podanej wcześniej złożoności obliczeniowej poszczególnych algorytmów. Czy czasy te korespondują z podanymi złożonościami?
- 5) Odnośnie treści rozdziału 3, jestem zdania, że w zasadzie dużą jego część, tę związaną z aspektami inżynierskimi (opisy zaimplementowanych funkcji) można byłoby bez utraty wartości przenieść do załączników rozprawy, bliżej listingów z implementacją poszczególnych funkcji. Natomiast można byłoby się skupić tutaj na aspektach bardziej naukowych, w tym przedstawionej złożoności, przeprowadzonych eksperymentach (czyli to, co już jest).
- 6) Podobne odczucia mam w stosunku do rozdziału 4, który mógłby być elementem załącznika (obejmuje blisko 70 stron opisów aspektów inżynierskich), szczególnie, że implementacja dotyczy literaturowych, znanych metod, a nie ciekawszych z punktu widzenia naukowego i wkładu Autora rozprawy rozwiązań wykorzystujących np. techniki uczenia maszynowego przedstawionych w rozdz. 5. Pytanie, które mi się nasuwa – dlaczego nie ujęto ich w narzędziu *REDUCE*? Natomiast w stosunku do przedstawionych w rozdz. 4 testów wydajności byłoby dobrze dowiedzieć się np. jak narzędzie to (np. jego część zaplecza, ang. *backend*) radzi sobie przy większej liczbie użytkowników (np. testy obciążeniowe), dla różnych rozmiarów macierzy.
- 7) Z treści rozdz. 5 nie udało mi się wyczytać w jaki sposób użyte algorytmy uczenia maszynowego dokonują redukcji niespójności. Albo nie zostało to jasno określone, albo użyto tu jakiegoś skrótu myślowego. Rozumiem, że na podstawie danych wejściowych (macierzy porównań parami), które zostały przekształcone do reprezentacji wierszowej, możemy przewidywać wartość współczynnika spójności *CR* metodami regresji. Niemniej, proces redukcji niespójności polega na wykonaniu serii modyfikacji macierzy porównań parami, czyli przekształceniu wejściowego wiersza danych. W jaki sposób jest to dokładnie wykonywane?
- 8) Ponadto, jak realizowany jest przebieg uczenia i testowania? Z rozdziału 5.3.1, str. 187 wynika, że podzbiory zawierające 20 000 macierzy są przydzielane do każdego z algorytmów. Czy nie należałoby wytrenować konkurencyjne algorytmy na tym samym zbiorze danych i sprawdzić jak dają sobie radę na zbiorze testowym? W części „implementacyjnej” (rozdział 5.3.2.1) pojawia się także stwierdzenie o prowadzeniu walidacji krzyżowej. Proszę o wyjaśnienie i uporządkowanie, jak cały ten proces uczenia, walidacji, testowania przebiega.
- 9) Po lekturze rozdziału 5 i 6 powstaje pytanie, dlaczego przy implementacji algorytmu *FAST-PCM* nie użyto, jako jednej z możliwości, wytrenowanego modelu uczenia maszynowego opartego na algorytmie drzew regresyjnych?

Mniej istotne uwagi:

- 1) W całej pracy przydałby się jakiś prosty wiodący przykład procesu wielokryterialnego podejmowania decyzji, aby całość rozważań nie miała charakteru czysto numerycznego.
- 2) W rozdz. 3 dwa razy pada stwierdzenie, że wyniki pokazują, iż użycie biblioteki *REDUCE.py* jest znacznie szybsze niż operowanie przy pomocy arkuszy kalkulacyjnych (str. 83 i 89). O ile czuje się, że jest to intuicyjnie prawdziwe stwierdzenie, nie zostało to w rzeczywistości nigdzie udowodnione i powinno się jednak unikać takich sformułowań w pracach badawczych. W szczególności wyniki badań w rozdz. 3 tego nie potwierdzają.
- 3) Wkradło się też trochę drobnych błędów językowych, wiszących literek na końcach linii i niefortunnych zdań (np. rozdział 1.6 „*W pierwszym rozdziale przedstawiony został kompleksowy przegląd macierzy porównań parami...*” – czy na pewno jest to przegląd macierzy?).
- 4) W odniesieniu do tytułu rozdziału 1.3, wydaje mi się, że powinniśmy mówić o *metodach wielokryterialnego podejmowania decyzji* zamiast o *wielokryterialnych metodach podejmowania decyzji*.
- 5) W jednym paragrafie tekstu, Autor raz stosuje kropkę, raz przecinek do oddzielenia części ułamkowych liczb dziesiętnych. Np. drugi paragraf rozdz. 2.1, ale i w całej pracy i tabelach.
- 6) Wielkości czcionek i nagłówki kolumn w j. ang. tabel 2.1 – 2.4 sugerują kopiowanie z innego źródła, podobnie jest z opisami osi rysunków/wykresów. Należałoby to ujednoczyć z tekstem pracy.
- 7) Pokazywanie wyników badań eksperymentalnych w postaci tabel i wykresów jednocześnie w rozdz. 3 i 6 jest niepotrzebną redundancją tego samego materiału. Autor powinien się skupić na wybranej formie, która jest adekwatna do celu rozważań.
- 8) W rozdziale 4 i 6 pojawia się dużo anglicyzmów typu *framework*, *firewall* i ich odmiany, np. *Porównania frameworków* (Tabela 4.1.), *...Flaskiem*, *...Pythonem* (str. 92), *...firewalla* – taki żargon programistyczny trochę razi w pracy naukowej.
- 9) W streszczeniach rozdziałów pojawia się często określenie „... w tej publikacji” lub „w artykule”, to wprowadza niespójność terminologiczną w odniesieniu do struktury pracy.
- 10) Niektóre zdania są bardzo długie, np. „*Celem rozdziału ...*” na str. 201, „*Jej interfejs pokazano ...*” na str. 208, czasem pojawiają się mało zręczne sformułowania np. „*pomiary zostały zaimplementowane ...*” (str. 204), „*matryce*” zamiast „*macierze*” na str. 210.

Uwagi o charakterze stylistycznym i językowym nie mają charakteru znacząco krytycznego i nie umniejszają znaczeniu osiągnięć Autora rozprawy. Mam natomiast nadzieję, że moje pytania staną się przyczynkiem do szerszej dyskusji, która może się wywiązać podczas obrony niniejszej rozprawy.

8. Przydatność rozprawy dla nauk inżynierijno-technicznych

Uważam, że przedłożona rozprawa doktorska Pana Pawła Kurasia wpisuje się w bieżące problemy informatyki technicznej i rozwiązywania problemów złożonych. Przeprowadzone prace nad uproszczeniem i uściśleniem procesów wielokryterialnego podejmowania decyzji przy pomocy metod iteracyjnych i modeli sztucznej inteligencji wnoszą powiew świeżości naukowej i pozwoliły Autorowi udowodnić

przydatność zastosowanych podejść do omawianego problemu. W ten sposób zaproponowane rozwiązania rozszerzają spektrum istniejących prac dotyczących redukcji niespójności minimalizując wymaganą liczbę przekształceń macierzy porównań parami. Potwierdzają to artykuły, których Pan Paweł Kuraś jest autorem, opublikowane przez znane wydawnictwa.

Reasumując, dobre wyniki osiągnięte przez Pana Pawła Kurasia w trakcie realizowanych przez niego badań pozwalają potwierdzić główne założenia przedstawione we wstępie rozprawy. Wyniki badań pokazują, że zaproponowane przez Autora techniki i modele, a przede wszystkim ich hybrydyzacja i integracja, mogą przyczynić się do opracowania bardziej skutecznych sposobów automatyzacji generowania macierzy porównań parami z losowymi wartościami wskaźnika Saaty'ego. Wartość powstałych opracowań została dostrzeżona przez środowisko naukowe, co potwierdzają opublikowane prace. Uważam zatem, że **przedstawiona rozprawa spełnia wymagania** stawiane rozprawom doktorskim określone w obowiązujących przepisach. Wnoszę o dopuszczenie Doktoranta do publicznej obrony i związanych z nią dalszych etapów postępowania.



Dr hab. inż. Dariusz Mrozek, prof. PS
Katedra Informatyki Stosowanej
Politechnika Śląska w Gliwicach