

## **Recenzja rozprawy doktorskiej**

*Krzysztofa Martyna*

### **zatytułowanej:**

*Multiple Criteria Decision Analysis methods  
inspired by other sub-disciplines of artificial intelligence*

### **1. Problem badawczy i jego znaczenie**

Rozprawa doktorska została przygotowana przez Krzysztofa Martyna na Wydziale Informatyki i Telekomunikacji Politechniki Poznańskiej pod kierunkiem dr hab. inż. Miłosza Kadzińskiego, prof. PP. Rozprawa składa się z cyklu pięciu artykułów naukowych, wspartych obszernym (liczącym 75 stron) autoreferatem w języku angielskim, jednostronicowym streszczeniem w języku angielskim i rozszerzonym (11 stron) streszczeniem w języku polskim. Prace tworzące cykl oznaczone są kodami P1-P5, porządkującymi artykuły według kolejności opublikowania (przy czym, artykuły P4 i P5 obecnie znajdują się na etapie recenzji w czasopismach). Autoreferat w języku angielskim obejmuje 7 rozdziałów, w tym: wstęp i podsumowanie, dwa rozdziały wprowadzające w tematykę rozprawy, trzy rozdziały szeroko omawiające główne osiągnięcia badawcze uzyskane w cyklu publikacji, a także bibliografię. Dodatkowo do rozprawy dołączone są oświadczenia współautorów publikacji o ich wkładzie w przygotowanie artykułów.

Zarówno lektura pięciu artykułów naukowych będących podstawą rozprawy, jak też analiza obszernego autoreferatu, pozwalają docenić nowe koncepcje i kierunki badawcze podjęte w rozprawie. Mgr inż. Krzysztof Martyn w swoich badaniach zajął się problematyką komputerowego wspomaganie decyzji, a główny problem badawczy odnosił się do rozwoju nowych dyskretnych metod wielokryterialnego wspomaganie decyzji (WWD), inspirowanych osiągnięciami z innych obszarów sztucznej inteligencji. Obszary te są odzwierciedlone w przyjętych przez autora trzech szczegółowych problemach badawczych, wyznaczających przyjęte kierunki rozwoju metod WWD.

- 1) Pierwszy kierunek reprezentowany jest przez publikację oznaczoną przez autora jako P3 i szeroko omówiony w autoreferacie w rozdziale 4. Dotyczy on zastosowania głębokich sieci neuronowych na potrzeby uczenia preferencji w oparciu o różne modele wiedzy.
- 2) Drugi obszar został zaprezentowany w publikacjach P1 i P2 oraz w rozdziale 5 autoreferatu. Obejmuje on nowe podejścia do problematyki sortowania wariantów decyzyjnych z uwzględnieniem niemonotonicznych kryteriów i wielu atrybutów decyzyjnych.
- 3) Ostatni już trzeci kierunek badawczy został ujęty w artykułach P4 i P5, a także w rozdziale 6 autoreferatu. Problem podjęty w tych pracach polega na opracowaniu nowych metod WWD implementujących algorytmy eksploracji zasobów internetowych.

Zarówno ogólny problem badawczy, związany z rozwojem metod WWD, jak też każdy z trzech problemów szczegółowych, mają charakter naukowy, a jednocześnie są ważne z perspektywy praktycznych zastosowań metod WWD w rzeczywistych problemach decyzyjnych.



## 2. Wkład autora

Na wstępie należy zwrócić uwagę na to, że spośród pięciu publikacji składających się na cykl, jedna z nich (P3) została przygotowana przez autora rozprawy i promotora, w pracach nad dwoma artykułami (P4 i P5) brał udział także trzeci współautor(-ka), a dwie kolejne prace (P1 i P2) są sześćo-autorskie. Mogłoby to budzić pewne obiekcje, jeżeli chodzi o wkład autora rozprawy, jednak dołączone do rozprawy oświadczenia o wkładzie naukowym rozwiewają tego rodzaju wątpliwości. W zasadzie wszyscy współautorzy z wyjątkiem Marco Cinelli'ego brali udział w opracowywaniu koncepcji badań i korekcie wstępnych wersji artykułu, a ich udział w pozostałych pracach nad publikacjami był symboliczny. Z kolei Marco Cinelli brał udział w opracowaniu koncepcji wykorzystanych w publikacjach P1 i P2, odpowiadał za pozyskanie danych do przykładów praktycznych i pomagał w spisaniu fragmentów tych artykułów. Za wszystkie inne elementy prac na pięcioma publikacjami odpowiadał autor wspólnie z promotorem. Odnosząc się do roli promotora w opracowywaniu cyklu artykułów warto podkreślić, że zadaniem promotora jest prowadzenie badań wspólnie z doktorantem i nadzorowanie jego działań, a jeżeli trzeba, to także korygowanie i odpowiednie ukierunkowywanie. Dlatego nie należy wyodrębniać wkładu autora rozprawy i jego promotora. Wszelki udział promotora w przygotowywaniu artykułów wynikał w pełni z jego roli w procesie rozwijania warsztatu i kształtowania sylwetki naukowej doktoranta. Ponadto, biorąc pod uwagę światową renomę współautorów prac P1 i P2, w mojej opinii współpraca z nimi również wpłynęła korzystnie na rozwój naukowy autora i stanowi argument za, a nie przeciw przyjęciu rozprawy.

Odnosząc się bezpośrednio do wkładu naukowego autora rozprawy, wkład ten można dostrzec opierając się na merytorycznej treści artykułów, wysokiej renomie czasopism, w których prace zostały opublikowane, czy też liczbie cytowań tych prac. Rozważając wkład metodyczny i praktyczny przedstawionych badań należy wskazać, że każdy z trzech kierunków rozwoju metod WWD przyjętych przez autora jest nowatorski i ma duże znaczenie praktyczne. Opracowane podejścia rozwiązują ważne problemy związane z WWD i eliminują istotne wady wielu dotychczas stosowanych metod. Mogą więc stanowić istotne wsparcie dla decydentów i innych interesariuszy procesu decyzyjnego. Poniżej scharakteryzowano naukowy wkład autora w każdym z trzech kierunków badań.

- 1) Zastosowanie głębokich sieci neuronowych na potrzeby uczenia preferencji. W istocie kierunek ten opiera się na integracji metod WWD z metodami uczenia maszynowego (ML). Jest on interesujący m.in. ze względu na możliwość automatyzacji budowy modelu preferencji, czy też cząstkowych funkcji odzwierciedlających kryterialne preferencje decydenta. Jest to rozwinięcie metod WWD z nurtu tzw. dezagregacji preferencji, a więc metod, w których model preferencji decydenta nie jest wyrażany wprost, lecz jest odtwarzany (rekonstruowany) na podstawie przykładów decyzji. Zastosowanie metod ML w tego rodzaju metodach jest naturalnym kierunkiem, pozwalającym wykorzystać możliwości oferowane przez algorytmy klasyfikacyjne do budowy modeli decyzyjnych np. na podstawie obszernych danych historycznych. Autor zastosował algorytm sztucznych (głębokich) sieci neuronowych i połączył go z ośmioma różnymi metodami WWD (m.in. całka Choquet'a, operator OWA – ang. Ordered Weighted Averaging, TOPSIS – ang. Technique for Order Performance by Similarity to Ideal Solution, UTADIS – ang. UTilites Additives DIScriminantes, PROMETHEE – ang. Preference Ranking Organization METHod for Enrichment Evaluation, ELECTRE – ang. ELimination and Choice Expressing the REality). Wymienione metody WWD autor dostosował do możliwości sieci neuronowych i dla każdego z rozwinięć opracował indywidualną architekturę sieci neuronowej, rozwiązującej problematykę sortowania (klasyfikacji) wariantów decyzyjnych. Każda z opracowanych sieci neuronowych, na podstawie licznego zbioru przypadków uczących, generuje funkcje (preferencji, wartości, zgodności, etc.) określające model preferencji decydenta na poszczególnych kryteriach. Funkcje te są następnie wykorzystywane w



klasyfikacji przypadków testowych. Działanie każdego z rozwinięć metod WWD zweryfikowano na 9 zbiorach danych w trzech konfiguracjach różniących się proporcjami podziału zbiorów na część uczącą i testową. Weryfikację oparto na dwóch miarach oceny wydajności klasyfikatora: standardowym błędzie klasyfikacji i obszarze pod krzywą ROC (ang. Receiver Operating Characteristic). Co więcej, wyniki działania ośmiu autorskich rozwinięć metod WWD porównano z wynikami dziesięciu innych podejść do klasyfikacji, zaczerpniętych z literatury. Jest to ogromna liczba badań i eksperymentów, a uzyskane wyniki są konkurencyjne w porównaniu z innymi zblizonymi podejściami prezentowanymi w literaturze. Wyniki zostały opublikowane w artykule P3 w renomowanym czasopiśmie *European Journal of Operational Research* (IF'22=6.4, 140 pkt MEiN) i dotychczas były cytowane 8 razy według bazy Web of Science i 9 razy wg Scopus.

- 2) Nowe podejścia do sortowania wariantów z uwzględnieniem niemonotonicznych kryteriów i wielu atrybutów decyzyjnych. Jest to kierunek nieco zblizony do pierwszego, ponieważ również tutaj autor rozwijał metody WWD stosujące dezagregację preferencji i rozpatrujące problematykę sortowania wariantów decyzyjnych. W tym obszarze badawczym autor zaproponował dwa podejścia, rozszerzające rodzinę metod dezagregacji preferencji opartych na addytywnej funkcji wartości. Najważniejszym osiągnięciem jest zaś opracowanie sposobów uchwycenia w modelu decyzyjnym kryteriów niemonotonicznych. Autor zaproponował różne typy kryteriów niemonotonicznych (typ A, V, M, W, ogólne niemonotoniczne). W pierwszym podejściu kryteria niemonotoniczne (A, V, ogólne) wyrażone są w postaci ograniczeń modeli programowania matematycznego. Natomiast w drugim podejściu kryteria niemonotoniczne (A, V, M, W) skonstruowane są jako złożenie odcinków tworzonych przez dwie funkcje monotoniczne (niemalejącą i nierosnącą). Dodatkowo, w drugim podejściu autor sformułował metodę uwzględniającą wiele powiązanych atrybutów decyzyjnych, uporządkowanych według preferencji. Chodzi tutaj o sytuację, gdy warianty decyzyjne są klasyfikowane oddzielnie na każdym z atrybutów decyzyjnych. Omówiony kierunek wypełnił dwie luki badawcze, niemal nigdy nie poruszane w literaturze światowej, tj. uwzględnienie kryteriów niemonotonicznych w problemach decyzyjnych i opracowanie metody pozwalającej na wielokryterialną klasyfikację wielodecyzyjną. Wyniki uzyskane w tym obszarze badawczym zostały przedstawione w artykułach P1 i P2 opublikowanych odpowiednio w czasopismach *International Journal of Approximate Reasoning* (IF'22=3.9, 140 pkt MEiN) i *Knowledge-Based Systems* (IF'22=8.8, 200 pkt MEiN). Artykuły te charakteryzują się wysoką cytawalnością, odpowiednio 26 i 8 cytowań według bazy Web of Science oraz 30 i 12 cytowań według bazy Scopus.
- 3) Opracowanie nowych metod WWD implementujących algorytmy eksploracji zasobów internetowych. W tym obszarze, będącym ostatnim już z podjętych kierunków badań, autor rozwinął rodziny klasycznych metod PROMETHEE i ELECTRE rozpatrujących problematyki wyboru i porządkowania (rangowania) wariantów. W szczególności autor skupił się na rozszerzeniu wskazanych metod na etapie eksploatacji rozmytej relacji preferencji w przypadku PROMETHEE i binarnej relacji przewyższania w przypadku ELECTRE. Zostały tutaj zaimplementowane algorytmy rangowania serwisów internetowych na podstawie ich połączeń (hiperłączy) z innymi serwisami. Ideą autora było zastąpienie serwisów internetowych przez warianty decyzyjne, a zamiast połączeń pomiędzy serwisami oparto się na relacjach pomiędzy wariantami decyzyjnymi. Implementując na etapie eksploatacji algorytmy PageRank, HITS i Salsa autor rozwinął metody PROMETHEE do postaci nowych metod, nazwanych odpowiednio PrefRank I, II i III. Z kolei implementacje algorytmów TrustRank, HITS, Salsa oraz jednego algorytmu autorskiego rozwinęły metody ELECTRE do postaci nowych metod ScoreBin I-IV. Siłą zaproponowanych rozwiązań jest ich świeżość, ponieważ według mojej najlepszej wiedzy nie mają one swojego odpowiednika w literaturze. Oczywiście dotychczas



opracowano inne rozwinięcia wskazanych metod WWD na etapie eksploatacji, ale nie znam tego rodzaju rozwinięć, opartych na algorytmach rangowania serwisów internetowych. Wyniki uzyskane w ramach tego kierunku badawczego przedstawiono w dwóch artykułach (P4 i P5), które obecnie są na etapie recenzji. Jednak opierając się na moim doświadczeniu recenzentkim, po lekturze wspomnianych prac mogę stwierdzić, że nie powinno być najmniejszego problemu z publikacją wyników tych badań w renomowanych czasopismach o zasięgu światowym.

Obok bardzo silnego wkładu naukowego istotny jest także wkład praktyczny badań ujętych w rozprawie. O sile tego wkładu świadczy fakt, że każde rozwiązanie metodyczne zaproponowane w omawianym cyklu publikacji był zweryfikowane praktycznie w rzeczywistym problemie decyzyjnym. Wobec tego, autor potwierdził stosowalność opracowywanych rozwiązań teoretycznych w realnych problemach WWD.

### 3. Poprawność

Najważniejszymi elementami rozprawy są: autoreferat w języku angielskim, rozszerzone streszczenie w języku polskim i cykl pięciu artykułów naukowych w języku angielskim. Autoreferat stanowi obszernie podsumowanie uzyskanych wyników badań, omawiając osiągnięcia uzyskane w cyklu publikacji. Oczywiście autoreferat jest mniej szczegółowy od publikacji źródłowych tworzących cykl, ale wystarcza on do zapoznania się z najważniejszymi osiągnięciami autora rozprawy.

Autoreferat jest poprawny językowo, chociaż zdarzają się w nim pojedyncze błędy gramatyczne i literówki, a także błędy związane z niekonsekwentnym wprowadzaniem skrótów. Poniżej podaję zauważone błędy dotyczące stosowania skrótów:

- str. 3 – pomimo wprowadzenia skrótu ML na stronie 1 autoreferatu, autor posługuje się pełnym rozwinięciem tego skrótu („machine learning”),
- str. 5 (i dalsze) – autor stosuje skróty SVM, GPU i TPU bez ich wprowadzenia w tekście,
- str. 8 – skrót WWW został użyty bez jego wcześniejszego wprowadzenia (choć na stronie 6 użyto pełnej formy „World Wide Web”, to jednak nie wprowadzono tam skrótu WWW),
- str. 11 (i dalsze) - autor stosuje skróty nazw metod WWD, jednak nie rozwinął tych skrótów podczas pierwszego użycia w tekście (np. ELECTRE, PROMETHEE, UTADIS, itp.),
- str. 31 – skrót CR użyto bez wcześniejszego wprowadzenia (choć wcześniej na tej samej stronie użyto pełnej formy „Choiquistic regression”, to jednak nie wprowadzono skrótu CR),
- str. 31 – skrót LMT użyto bez jego wcześniejszego wprowadzenia w tekście,
- str. 34 – użyto skrótu MILP, który został wprowadzono dopiero na stronie 35,
- str. 62 – tutaj już nie użyto skrótu MILP, lecz posłużono się pełnym rozwinięciem nazwy.

Błędy językowe i literówki:

- str. 16 – użycie sformułowania „total flow” wydaje się dyskusyjne - w literaturze anglojęzycznej w kontekście metod PROMETHEE zazwyczaj używa się określenia „net flow”,
- str. 31 – „(...) and **with with** the characteristic points (...)”,
- str. 47 – brak kropki na końcu zdania „Methods based on discovering preference relations are one of the most popular in MCDA”,
- str. 47 – „(...)  $a_i$  a is at least as good  $a_k$  (...)”,
- str. 52 – w zdaniu „For example, PrefRank I. KRA was preferred over TAR, whereas for the remaining approaches, they were indifferent.” zamiast słowa „indifferent” powinno być użyte słowo „incomparable”,
- str. 52 i 57 – w podpisach rysunków 6.1 i 6.2 zamiast sformułowania „Incomplete rankings” lepszym określeniem byłoby „Partial rankings”,
- str. 56 – w zdaniu „We considered two scenarios for solving this problem: the first was without and the second with indirect **reference** information.” powinno być użyte słowo „preference”.



Ponadto pomiędzy stronami 16 i 48 autoreferatu występuje pewna niespójność oznaczeń. Czytelnik niezaznajomiony z metodami PROMETHEE mógłby uznać, że wzory (6.1) na stronie 48 stanowią uszczegółowienie elementów wzoru podanego w ostatnim akapicie sekcji 2.7 na stronie 16. Wydaje mi się, że bardziej przejrzyste dla czytelnika byłoby użycie na stronie 16 standardowego dla PROMETHEE II wzoru z symbolami  $\phi^+$ ,  $\phi^-$  i  $\phi_{net}$ , zamiast  $S^+$ ,  $S^-$ ,  $S$ .

Jeżeli chodzi o streszczenie w języku polskim to można odnieść wrażenie, że było ono przygotowywane w nadmiernym pośpiechu, ponieważ pomimo dużo mniejszej objętości od autoreferatu, w streszczeniu jest więcej błędów gramatycznych i literówek. Poniżej lista zauważonych błędów:

- str. 217 (i dalsze) – zamiast określenia „wielokryteriowe wspomaganie decyzji” w literaturze polskojęzycznej raczej stosowana jest nazwa „wielokryterialne wspomaganie decyzji”,
- str. 218 – w zdaniu „Te różne cele mają swoje przełożenie na **charakterystyką** metod, wielkości rozważanych problemów oraz **udziału** decydenta w rozwiązaniu problemów.” należało użyć form „charakterystykę” oraz „udział”,
- str. 219 – użyto skrótu OWA bez jego wcześniejszego rozwinięcia, ponadto zamiast „całkę Choquet” można było zapisać „całkę Choquet`a”,
- str. 219 – zdanie „Ta pierwsza **dopuszcza** jedynie **na pozytywne** interakcje między kryteriami oraz dodatnie wagi kryteriów.” Powinno brzmieć „Ta pierwsza **dopuszcza** jedynie **pozytywne** interakcje między kryteriami oraz dodatnie wagi kryteriów.” lub „Ta pierwsza **pozwała** jedynie **na pozytywne** interakcje między kryteriami oraz dodatnie wagi kryteriów.”,
- str. 220 – w zdaniu „Ponadto dostarczają wglądu w to, jak **wpływ** oceny wariantów na poszczególnych kryteriach wpływają na ostateczną decyzję.” słowo wpływ jest nadmiarowe,
- str. 224 – „(...) Scorbin IV (...)”,
- str. 225 – „(...) ScoreBIIn (...)”,
- str. 227 – zdanie „Następnie **użyteczność** metod modelowania niemonotonicznych kryteriów **zostały przedstawione** na przykładzie problemu analizy ryzyka podczas produkcji nanomateriałów.” powinno brzmieć „(...) użyteczność (...) została przedstawiona (...)”,
- str. 227 – fragment „(...) **w wiele obszarach** uczenia maszynowego” powinno brzmieć „(...) w wielu obszarach (...)”,
- str. 227 – jest „(...) do jednego miary jakości (...)” zamiast „(...) do jednej miary jakości (...)”.

Kilka drobnych omyłek pojawiło się także w artykułach, zarówno już opublikowanych, jak też znajdujących się na etapie recenzji:

- artykuł P1 – w sekcji 3.1 kryteria oznaczenia g7 i g8 są zamienione miejscami w porównaniu do pozostałej części artykułu (w sekcji 3.1 g7 oznacza number of employees, a g8 to engineering controls, natomiast w pozostałej części artykułu jest odwrotnie),
- artykuł P4 – w uzupełnieniu (eAppendix) tabele 1 i 2 są podpisane w języku polskim (Tabela, zamiast Table),
- artykuł P5 – na str. 18 powinno być „Rank Acceptability Indices” zamiast „Rank Acceptability Indexs”.

Jednak są to tylko pojedyncze, pomniejsze błędy, nie mające wpływu na jakość artykułów i przedstawionych w nich badań. W porównaniu do autoreferatu i streszczenia, jakość językowa artykułów jest wyższa. W każdym artykule rzeczowo omówiono problem badawczy, a następnie wyczerpująco przedstawiono uzyskane wyniki metodyczne i zastosowania praktyczne. Opracowane podejścia są przedstawione w sposób poprawny, często ilustrowane na małych przykładach, które zwiększają przystępność poszczególnych prac. Ten sam efekt jest osiągnięty dzięki omówieniu rozwiązania rzeczywistych problemów lub wyników rozległych eksperymentów obliczeniowych. Prace ujęte w cyklu przyczyniają się do rozwoju literatury pod względem metodycznym, aplikacyjnym i eksperymentalnym. Szczególnie ten ostatni aspekt jest często zaniedbywane w literaturze poświęconej WWD.



Po dokładnym przeczytaniu i przeanalizowaniu rozprawy nasuwa mi się kilka pytań, na które nie znalazłem odpowiedzi w treści, a które są istotne z perspektywy badań i ich wyników przedstawionych w rozprawie.

- 1) W artykule P3 przedstawiono modele łączące głębokie sieci neuronowe i metody WWD. Zarówno w autoreferacie, jak też w artykule P3 wielokrotnie padają stwierdzenia o wysokiej interpretowalności i wyjaśnialności tych modeli. Biorąc pod uwagę, że opracowane architektury sieci neuronowych zawierają nawet do 5 warstw ukrytych, mamy do czynienia raczej z klasycznymi „czarnymi skrzynkami”, a nie z modelami klasyfikatorów, których wyniki są łatwo wyjaśnialne i interpretowalne. Opracowane architektury postrzegabym jako jakiś stopień kompromisu pomiędzy złożonością klasyfikatora, a interpretowalnością. Dlatego chciałbym zapytać, w jakim kontekście autor pisze o wysokiej wyjaśnialności i łatwości interpretacji. Czy chodzi o interpretowalność architektury sieci neuronowych, czy o wyjaśnialność rekomendacji (decyzji), czy może stwierdzenia te dotyczą jeszcze innego kontekstu?
- 2) W artykule P1 i na stronie 37 autoreferatu przedstawiony jest model optymalizacji minimalizujący liczbę zmian monotoniczności cząstkowych funkcji wartości. Czy możliwa jest sytuacja, w której pomimo osiągnięcia maksymalnej możliwej liczby zmian metoda wciąż nie odtworzy wszystkich referencyjnych przydziałów do klas? Jak poradzi sobie ona wtedy z obsługą niespójności?
- 3) W artykule P1 i na stronie 40 autoreferatu przedstawiona jest funkcja wartości dla kryterium  $g7$  – engineering controls. Kryterium to ma charakter jakościowy, tzn. jego wartości są wyrażone w postaci etykiet i dopiero nadanie rang tym etykietom generuje informację preferencyjną. Wobec tego chciałbym zapytać, czy w rzeczywistości jest to kryterium niemonotoniczne. Czy inne uporządkowanie wartości (etykiet) tego kryterium (np. Open-NP, Open-PP, Closed, Closed-NP) pozwoliłoby zachować monotoniczność, a jeżeli tak, to dlaczego zastosowano inny porządek etykiet dla tego kryterium?
- 4) Bardzo podoba mi się koncepcja metod PrefRank i ScoreBin. Jest to bardzo eleganckie, a jednocześnie intuicyjne rozszerzenie metod PROMETHEE i ELECTRE. Jednak w moim mniemaniu mankamentem tych procedur jest konieczność iteracyjnego obliczania wartości  $S^+(a_i)$  oraz  $S^-(a_i)$ . Iteracyjność procedury powoduje, że procedura obliczeniowa metody i jej rekomendacje mogą być trudniejsze do wyjaśnienia interesariuszom, ograniczając ich zaufanie do generowanych rekomendacji. Czy autor rozważał zastąpienie iteracyjnej procedury obliczania  $S^+(a_i)$  i  $S^-(a_i)$  przez klasyczną procedurę PROMETHEE? Inaczej rzecz ujmując, jak na wyniki metod PrefRank wpłynęłoby zastąpienie we wzorach (6.3), (6.4), (6.5), (6.6) wartości  $S^+(a_i)$  i  $S^-(a_i)$  przez wartości  $\phi^+(a_i)$  i  $\phi^-(a_i)$  wyznaczone zgodnie z klasyczną procedurą PROMETHEE (obliczenie tych wartości to jedno dodatkowe działanie, zamiast zapewne kilku(nastu) iteracji obliczeń  $S^+(a_i)$  i  $S^-(a_i)$ )? Czy taka modyfikacja istotnie uprościłaby procedurę obliczeniową PrefRank i czy uzyskiwane wyniki znacząco różniłyby się od wersji iteracyjnej?
- 5) Na stronie 57 autoreferatu w kontekście metod ScoreBin i artykułu P5 podana jest informacja, że przy użyciu metody Monte Carlo przeprowadzono analizę odporności. Ponieważ w autoreferacie, podobnie jak w artykule P5, nie znalazłem informacji o liczbie iteracji Monte Carlo, chciałbym dowiedzieć się, ile iteracji algorytmu Monte Carlo zostało przeprowadzonych i w związku z tym jaka dokładność wyników została uzyskana i w jakim przedziale ufności?

#### 4. Wiedza kandydata

Stan wiedzy na tematy związane z WWD i sztuczną inteligencją został wstępnie omówiony w sekcji 1 autoreferatu (Introduction) w celu postawienia problemów badawczych. Następnie sekcja 2 (Multiple



Criteria Decision Analysis) zwięźle przedstawia stan wiedzy na temat WWD, a sekcja 3 (Artificial Intelligence) ogólnie omawia stan wiedzy związanej z uczeniem maszynowym, sieciami neuronowymi, związkami WWD z uczeniem maszynowym oraz algorytmami eksploracji i rangowania zasobów internetowych. Również w każdym artykule ujętym w cyklu na wstępie podany jest stan wiedzy i tło badawcze, konieczne do właściwego przedstawienia osiągnięć i wkładu w danym artykule.

Informacje teoretyczne przedstawione w rozprawie są poprawne, ale w wielu miejscach autoreferatu autor bardzo oszczędnie posługuje się referencjami i w efekcie tego wiele stwierdzeń zawartych w autoreferacie podanych jest bez podparcia w literaturze. Oczywiście są to zdania stwierdzające fakty, ale dobrze byłoby je poprzeć pozycjami literaturowymi, w których fakty te zostały już wcześniej podane. Przykładowo w sekcji 2.1 autor opisuje proces wspomaganie decyzji bez podparcia się jakimkolwiek źródłem literaturowym. Tymczasem różne postaci procesu wspomaganie decyzji były omawiane wielokrotnie w literaturze (pisali o tym m.in. Roy, Guitouni, Kenney, itd.). Również cała sekcja 3.1 nie jest podparta ani jedną pozycją literaturową, podobnie jak wypunktowania w sekcjach 3.2 i 3.3. Są to najbardziej reprezentatywne fragmenty, które należałoby wzmocnić odniesieniami do literatury, jednak również inne części autoreferatu mogłyby zostać w ten sposób uzupełnione.

Powyższe uwagi dotyczą odnośników do literatury, natomiast nie mają one nic wspólnego z oceną wiedzy autora. Należy wręcz podkreślić, że bez posiadania odpowiednio szerokiej wiedzy dziedzinowej na temat WWD, uczenia maszynowego, sieci neuronowych, a także modelowania i symulacji, czy też eksploracji zasobów internetowych, nie byłoby możliwe opracowanie rozwiązań przedstawionych w rozprawie. Dlatego trzeba docenić wiedzę mgr inż. Krzysztofa Martyna we wskazanych dziedzinach. Potrafił on w kreatywny sposób połączyć elementy różnych specjalności informatyki opracowując nowatorskie rozwiązania w zakresie wspomaganie decyzji. Rozwiązania te umiejętnie zweryfikował przeprowadzając eksperymenty obliczeniowe oraz rozwiązując rzeczywiste problemy decyzyjne. Jestem przekonany, że wiedza i umiejętności kandydata pozwalają mu na samodzielne prowadzenie badań naukowych w dyscyplinie informatyka techniczna i telekomunikacja.

## 5. Inne uwagi<sup>1</sup>

Warto podkreślić, że każdy z pięciu artykułów wchodzących w skład cyklu, gdyby został uzupełniony o szerszy przegląd literatury, pogłębioną analizę stanu wiedzy i nieco bardziej rozbudowaną część prezentującą wyniki badań, mógłby stanowić samodzielną dysertację doktorską. Oczywiście konwencja artykułu naukowego powoduje, że jest on dużo bardziej kompaktowy od monografii, dlatego nie ma w nim miejsca na wyczerpujące omawianie stanu wiedzy, a zakres prowadzonych badań musi być często ograniczony, aby umożliwić przejrzyste ich przedstawienie. Jednak każdy artykuł zawarty w cyklu istotnie uzupełnia stan wiedzy i niweluje istniejące dotychczas luki badawcze w zakresie szeroko rozumianej sztucznej inteligencji, rozszerzając wiedzę dziedzinową odnoszącą się do metod analizy decyzyjnej i klasyfikacji. Przedłożony do oceny cykl pięciu artykułów w mojej ocenie znacząco przewyższa typowy poziom rozpraw doktorskich w dyscyplinie informatyka techniczna i telekomunikacja oraz w dyscyplinach pokrewnych i zasługuje na wyróżnienie.

## 6. Podsumowanie

Biorąc pod uwagę opinie zaprezentowane w poprzednich punktach i wymagania zdefiniowane przez art. 187 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (z późniejszymi zmianami)<sup>2</sup> moja ocena rozprawy pod względem trzech podstawowych kryteriów jest następująca:

<sup>1</sup> Opcjonalnie

<sup>2</sup> <http://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=WDU20190000276>

A. Czy rozprawa zawiera oryginalne rozwiązanie problemu naukowego? (wybierz jedną opcję stawiając znak X)

Zdecydowanie  
TAK

Raczej TAK

Trudno  
powiedzieć

Raczej NIE

Zdecydowanie  
NIE

B. Czy po przeczytaniu rozprawy zgadzasz się, że kandydat posiada ogólną wiedzę teoretyczną w dyscyplinie Informatyka techniczna i telekomunikacja?

Zdecydowanie  
TAK

Raczej TAK

Trudno  
powiedzieć

Raczej NIE

Zdecydowanie  
NIE

C. Czy kandydat posiada umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej?

Zdecydowanie  
TAK


Raczej TAK

Trudno  
powiedzieć

Raczej NIE

Zdecydowanie  
NIE

Ponadto, biorąc pod uwagę poziom naukowy rozprawy, a także jej ponadprzeciętną wartość metodyczną i praktyczną, rekomenduję wyróżnienie rozprawy doktorskiej<sup>3</sup>.

  
Podpis

<sup>3</sup> Oczywiście to zdanie jest opcjonalne.