Prof. dr hab. Tadeusz Trzaskalik
Uniwersytet Ekonomiczny w Katowicach
Katedra Badań Operacyjnych

Katowice, 25 stycznia 2022 r.

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr Tomasza Starczewskiego

Analiza charakterystyk niespójności macierzy porównań parami i ich związków z jakością estymacji wektora priorytetów

Wielokryterialne podejmowanie decyzji jest tą dziedziną badań operacyjnych, która rozwija się ostatnio bardzo dynamicznie. Wśród metod wielokryterialnych wyróżniamy dyskretne metody wspomagania decyzji. Można je scharakteryzować następująco: dany jest skończony zbiór wariantów decyzyjnych (liczebność tego zbioru może być bardzo zróżnicowana) oraz zbiór kryteriów, odzwierciedlający preferencje decydenta. Chodzi o to, by w oparciu o takie informacje uszeregować warianty decyzyjne, dokonać ich klasyfikacji lub przyporządkować do z góry ustalonych klas.

Do wspomnianych powyżej metod należy metoda *Analytical Hierarchy Process,* zwana często w Polsce *Metodą Analitycznej Hierarchizacji* i określaną skrótem AHP. U jej podstaw leżą prace Thomasa Saaty'ego, zapoczątkowane już w latach siedemdziesiątych XX wieku. Pomysłem, leżącym u podstaw tego podejścia jest dokonywanie porównywanie parami, zarówno rozpatrywanych kryteriów

między sobą, jak również wariantów decyzyjnych (zwanych często alternatywami) ze względu na kolejne kryteria z wykorzystaniem dziewięciostopniowej skali. Wyniki tych porównań są w odpowiedni sposób agregowane, a uzyskany wektor priorytetów pozwala na wybór najlepszego wariantu, uszeregowanie wariantów od najlepszego do najgorszego, jak również przydziału zasobów.

Trzeba podkreślić, że metoda AHP jest szeroko znana na całym świecie i wielokrotnie stosowana, nierzadko bez sprawdzenia założeń, leżących u jej podstaw. Jej olbrzymia popularność związana jest ze znakomitą promocją, prowadzoną przez lata przez Thomasa Saaty'ego i jego współpracowników.

Metoda ta budziła jednocześnie silne kontrowersje w kręgu naukowców zajmujących sie problematyką wielokryterialnego wspomagania decyzji. Prowadziło to z jednej strony do dyskusji na temat pewnych aspektów teoretycznych, z drugiej strony stymulowało do dokonania poprawek i wprowadzenia alternatywnych rozwiązań. Jednym z podstawowych zagadnień stała się sprawa zgodności ocen w dokonywanych porównaniach oraz odpowiedź na pytanie, w jakim stopniu pojawiające się niezgodności, które są nieuniknione wpływają na otrzymane wyniki. Badaniu tych bardzo istotnych dla stosowania metody AHP zagadnień poświęcona jest recenzowana rozprawa doktorska mgr Tomasza Starczewskiego *Analiza charakterystyk niespójności macierzy porównań parami i ich związków z jakością estymacji wektora priorytetów*, przygotowana pod kierunkiem dr hab. inż. Andrzeja Grzybowskiego, profesora Politechniki Częstochowskiej.

Recenzowana rozprawa doktorska składa się ze wstępu, pięciu rozdziałów merytorycznych, zakończenia, apendyksu i spisu literatury. Rozprawę poprzedza zamieszczony na str. 5 wykaz skrótów.

We wstępie doktorant omawia cele swojej rozprawy, do których zalicza:

- analizę aktualnego podejścia do akceptacji macierzy porównań parami pod kątem jej związku z jakością uzyskiwanych rankingów, a także zaproponowanie podejścia alternatywnego, opartej na statystycznej analizie ryzyka,
- przebadanie szerokiego spektrum indeksów niespójności pod kątem ich przydatności w ocenie przydatności macierzy porównań parami,
- budowa i modyfikacja środowiska symulacyjnego umożliwiającego wykonanie odpowiednich eksperymentów obliczeniowych,
- zaproponowanie nowatorskiej metody akceptacji macierzy porównań parami, która pozwoli decydentowi uzależnić decyzje o akceptacji macierzy porównań parami od oceny ryzyka związanego z uzyskaniem błędnego rankingu alternatyw.

Rozdział 1 to wprowadzenie do metody porównań parami. Doktorant omawia wybrane przez siebie problemy wielokryterialnej analizy decyzyjnej, wyróżniając podejmowanie decyzji w warunkach pewności, ryzyka i niepewności. Zwraca uwagę na możliwość wykorzystania dominacji stochastycznych. Przechodząc do zagadnień wielokryterialnych wyróżnia poszukiwanie rozwiązań optymalnych w sensie Pareto oraz przedstawia wybrane metody skalaryzacji problemów wielokryterialnych, takie jak metodę kryteriów ważonych, optymalizację hierarchiczną, wykorzystanie punktu idealnego, metody: min-max, satysfakcjonującego poziomu kryteriów, programowania celowego oraz AHP. Wspomina następnie o wykorzystaniu metod sztucznej inteligencji do rozwiązywania problemów wielokryterialnych – sztucznych sieciach neuronowych i zbiorach rozmytych. Dalsza część rozdziału pierwszego to wprowadzenie do metody AHP i problematyki porównywania parami.

W rozdziale 2 omówione zostały podstawowe zagadnienia związane z symulacją komputerową. W dalszej części rozprawy doktorant wykorzystuje symulację Monte Carlo, w tym miejscu omawia więc jej podstawy. Przy okazji doktorant słusznie zauważa, że właśnie wykorzystanie metody Monte Carlo pozwala na przeprowadzenie dalszych analiz, których dokonanie nie byłoby możliwe w oparciu wyłącznie o macierze porównań parami, które uzyskane byłyby bezpośrednio od decydentów. W tym wstępnym fragmencie omówione są również modele czarnej skrzynki.

W rozdziale 3 omówione zostały problemy związane z błędami, pojawiającymi się w macierzach porównań oraz sposobami ich analizy. Macierz porównań parami zawiera wielkości porównań wariantów decyzyjnych między sobą. Służy ona do uzyskania wag rozpatrywanych alternatyw. W idealnej sytuacji macierz ta jest macierzą reciprokolną (nazewnictwo wprowadzone przez doktoranta), czyli taką macierzą kwadratową, której elementy poniżej głównej przekątnej są odwrotnościami symetrycznych elementów powyżej tej przekątnej, natomiast elementy na głównej przekątnej są równe 1. W idealnej sytuacji macierz porównań parami ma postać, opisaną w rozprawie wzorem (3.4), natomiast jest to rzadko spotykane w praktyce. Źródłem niespójności porównań parami mogą być błędy osoby odpowiadającej na pytania jak również ograniczenia, wynikające z wykorzystywanej skali. Omawiając to zagadnienie w rozdziale 3 doktorant przywołuje metody priorytetyzacji, rozpoczynając od metody prawego wektora własnego zaproponowanej wyjściowo przez Saaty'ego, przez metodę średniej geometrycznej oraz metody dla bezbłędnej macierzy porównań, metody optymalizacyjne na zbiorach ograniczonych i metody statystyczne. Pojawia się problem określenia poprawności działania metod priorytetyzacji w przypadku niespójnych macierzy porównań. Szczególne

znaczenie ma zachowanie kolejności wariantów decyzyjnych w wektorze priorytetów, stąd tez pojawia się pojęcie błędu porządkowego oraz istotnie błędnego rankingu końcowego. Pojawia się również podstawowe pytanie o próg niespójności, którego zachowanie pozwala na wykorzystanie (niedokładnej) macierzy porównań w dalszej procedurze AHP. W dalszej części rozdziału 3 doktorant przedstawia wyniki przeprowadzonych przez siebie badań symulacyjnych dla wybranych metod, wykorzystując opisany w rozprawie (str. 49) schemat symulacyjny. Elementami podlegającymi badaniom są

- analiza związku zachodzącego pomiędzy rozkładem współczynnika PF, zakłócającego macierz PCM a rozkładem błędów w otrzymanym na tej podstawie macierzy PVE,
- poprawności stosowanych metod priorytetyzacji,
- stosowania rożnych skal priorytetów,
- wpływ błędnych osądów na oszacowanie wektora priorytetów.

W rozdziale 4 omówione zostały charakterystyki macierzy porównań parami i ich związki z oszacowaniem wektora priorytetów. Tymi charakterystykami są indeksy niespójności. Doktorant omawia istniejące indeksy, począwszy od wyjściowego indeksu Saaty'ego poprzez indeks geometryczny, indeks Koczkodaja i jego modyfikacje, zaproponowane przez Grzybowskiego i Kazibudzkiego oraz indeks Hämäläinena. Pojawia się istotne pytanie dotyczące związków pomiędzy wartościami indeksów a oszacowaniem wektora priorytetów. Doktorant przeprowadził badania w tym zakresie, stosując schemat symulacyjny, opisany w rozprawie na str. 71. W przeprowadzonych symulacjach określono zależności pomiędzy wartościami indeksów a wyborem najlepszego wariantu oraz zależności uzyskiwanych wyników od zastosowanej skali.

W rozdziale 5 doktorant zajmuje się zagadnieniem, które można byłoby sformułować następująco: jaki warunek (w kontekście wartości indeksów niespójności) powinna spełniać macierz porównań, żeby można ją było uznać za ‘dobrą’, a kiedy należy ją odrzucić? Przedstawiona została zaproponowana przez doktoranta procedura akceptacji macierzy porównań parami, wykorzystująca liniową zależność pomiędzy wartościami indeksów niespójności a błędami w oszacowaniu priorytetów. Zaproponowane modele regresji pozwalają decydentowi zorientować się, czy podane przez niego macierze nadają się do wyznaczenia przybliżonych wartości priorytetów. Decydent informowany jest o przybliżonej wielkości błędu, który pojawi się z reguły w końcowym wektorze priorytetów.

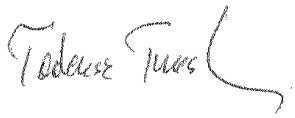
W apendyksie umieszczono wykresy i tabele sporządzone dla rozpatrywanych w rozprawie indeksów niespójności.

Bibliografia zawiera 156 pozycji, w przeważającej części są to pozycje w języku angielskim.

Przechodząc do oceny recenzowanej rozprawy doktorskiej stwierdzam, że stanowi ona rozwiązanie ważnego zarówno teoretycznie, jak i aplikacyjnie problemu naukowego ustalenia i wykorzystania związków wartości indeksów niespójności z jakością estymowanego wektora priorytetów. Ważna jest w tym kontekście propozycja doktoranta, zawarta w rozdziale 5, dotycząca zaproponowanego przez niego podejścia do akceptacji macierzy porównań w oparciu o statystyczną teorię ryzyka. Cele rozprawy, sformułowane przez doktoranta we wstępie zostały osiągnięte. Zaproponowany w pracy schemat symulacji jest poprawny. W swojej rozprawie doktorant dobrze i wyczerpująco udokumentował przeprowadzone przez siebie badania. Pod względem edycyjnym rozprawa jest przygotowana na bardzo

dobrym poziomie. Dobór literatury uważam za właściwy. Bardzo pomocny przy lekturze rozprawy jest zamieszczony na początku wykaz stosowanych w rozprawie skrótów.

Poniżej przedstawię również kilka uwag dyskusyjnych lub krytycznych. Cele pracy nie zostały sformułowane w zwarty i przejrzysty sposób, nie została sformułowana teza rozprawy. Mam pewne wątpliwości co do tytułów rozdziału 1 i 3, gdyż nie odpowiadają one w pełni ich zawartości. Rozprawa rozpoczyna sie od podrozdziału zatytułowanego „Wielokryterialna analiza decyzyjna". Dobór treści może być różny i na pewno subiektywny, ale sugerowałbym pewne korekty. Z jednej strony zawartość tego podrozdziału wychodzi poza zagadnienia wielokryterialne, a z drugiej nie ujmuje innych oprócz AHP metod dyskretnego wielokryterialnego wspomagania decyzji (których jest bardzo wiele). Brakuje więc wskazania, że problematyka porównywania parami nie jest jedynym sposobem wykorzystywanym w zagadnieniach wielokryterialnego wspomagania podejmowania decyzji. Można byłoby się również zastanowić nad strukturą pracy. Rozdziały sa o bardzo rożnej długości – najkrótszy (rozdział 2) ma 7 stron, natomiast najdłuższy (rozdział 5) ma stron 66, czyli niemal dziesięciokrotnie więcej. Warto było pomyśleć o takiej organizacji rozprawy, by uniknąć tych dysproporcji. W tytule rozdziału 3 mamy jedynie „przegląd współczesnych metod priorytetyzacji", natomiast treść jest o wiele bogatsza, gdyż w podrozdziałach 3.3 oraz 3.4 zawiera wyniki badań własnych doktoranta, wykorzystujących symulacje.

Podsumowując – ze względu na trafny wybór tematyki badań, wykazanie się znajomością problematyki wspomagania decyzji wielokryterialnych opartych na porównywaniu parami, udokumentowaną w dysertacji znajomość aktualnej i starszej literatury przedmiotu oraz

wkład własny w rozprawę i przedstawienie propozycji rozwiązania problemów naukowych związanych z błędami w macierzach porównań, w tym procedury akceptacji macierzy porównań w oparciu o statystyczną teorię ryzyka – rozprawę doktorską mgr Tomasza Starczewskiego *Analiza charakterystyk niespójności macierzy porównań parami i ich związków z jakością estymacji wektora priorytetów* oceniam jako spełniającą wymogi stawiane ustawowo pracy doktorskiej. Dlatego też uznając, że stanowi ona rozwiązanie istotnego problemu naukowego wnoszę o dopuszczenie rozprawy do publicznej obrony.