

PRZYDATNOŚĆ PORZĄDKOWEJ, NIEROZMYTEJ OCENY WE WSPÓŁCZESNEJ ANALIZIE DECYZJI¹

Grzegorz GINDA

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Wydział Zarządzania, Katedra Zarządzania Strategicznego

Streszczenie: Wspomaganie procesu podejmowania decyzji we współczesnych przedsiębiorstwach wymaga uwzględniania niedoskonałego charakteru dostępnej informacji. Jednym z tradycyjnych narzędzi umożliwiających modelowanie wpływu takiej informacji są porządkowe skale oceny atrybutów obiektów, np. dostępnych wariantów decyzji i ich atrybutów o jakościowym charakterze. Stopnie takich skal są jednak często wyrażane przy zastosowaniu zaawansowanych narzędzi modelowania niedoskonałej informacji np. liczbami rozmytymi, których zastosowanie skutkuje dodatkowym wysiłkiem obliczeniowym. Takie jednoczesne stosowanie obu sposobów ujmowania niedoskonałego charakteru informacji budzi więc wątpliwości. Dlatego w pracy podjęto próbę oceny, czy taki sposób modyfikacji skal porządkowych przynosi realne korzyści w porównaniu z rezultatami otrzymywanymi dzięki wyrażeniu stopni skali w prostszy, nierozmyty sposób. Rozważania teoretyczne zilustrowano w pracy, przedstawiając zastosowanie dwóch popularnych metod analizy decyzji.

Słowa kluczowe: analiza decyzji, skala porządkowa, skala rozmyta, przydatność, metoda DEMATEL, metoda AHP

1. Wprowadzenie

Praktyka wspomagania decyzji w przedsiębiorstwach wyróżnia pięć modelowych postaci uwarunkowań informacyjnych – sytuacji decyzyjnych, które przesądzają o efektach podejmowanych decyzji (Forlicz, 2001). Pierwsza postać wiąże się z tzw. sytuacją podejmowania decyzji w warunkach wiedzy doskonałej – deterministycznych, pozwalających z góry określić efekty wszelkich możliwych kierunków działania, stanowiących znane warianty decyzji. Postać druga dotyczy sytuacji podejmowania decyzji w warunkach ryzyka i wiąże się z dostępnością niepełnej informacji o charakterze uwarunkowań efektów decyzji, np. rozkładu prawdopodobieństwa występowania pewnych uwarunkowań. W efekcie przekłada się ona na nie do końca przewidywalne efekty rozpatrywanych wariantów decyzji. Trzy ostatnie postacie

¹ Publikacja została sfinansowana przez Akademię Górniczo-Hutniczą im. Stanisława Staszica w Krakowie (subwencja na utrzymanie i rozwój potencjału badawczego).

dotyczą sytuacji decyzyjnych, w których istnieje dostęp do informacji o bardzo ograniczonym zakresie. W pierwszej z tych postaci ograniczony zakres dostępnej informacji wynika z przyczyn naturalnych (sytuacja podejmowania decyzji w warunkach niepewności), a w drugiej – ze świadomego kształtowania sytuacji decyzyjnej przez inne, konkurencyjne podmioty (sytuacja podejmowania decyzji w warunkach konfliktu). Natomiast trzecia z nich wiąże się z przypadkiem braku kompletnej informacji nawet w odniesieniu do możliwych wariantów decyzji (sytuacja podejmowania decyzji w warunkach ignorancji).

Sytuacja podejmowania decyzji w warunkach pewności jest trywialna, gdyż wiąże się z dostępem do perfekcyjnej wiedzy na temat uwarunkowań decyzji i ich jednoznacznych powiązań z jej efektami. W praktyce bardzo rzadko dysponujemy jednak taką kompletną informacją i dlatego zwykle jesteśmy konfrontowani z pozostałymi sytuacjami decyzyjnymi. Dążąc do uzyskania zadowalającego rozwiązania, staramy się jednak uzupełnić braki w dostępnej niedoskonałej informacji tak, by doprowadzić rozważaną sytuację decyzyjną do takiej postaci, która daje nadzieję na wskazanie przynajmniej zadowalającego wariantu decyzji. W tym celu można posłużyć się odpowiednimi środkami dopasowanymi do charakteru konkretnej sytuacji decyzyjnej, np. symulacją, grą z naturą, grą strategiczną czy heurystyką.

Niedoskonały charakter niezbędnej informacji może wynikać nie tylko z oczywistych, związanych z charakterem samej sytuacji decyzyjnej braków w dostępnej informacji. Na przykład pomimo teoretycznej możliwości dokonania właściwych pomiarów mogą one nie być dostępne z obiektywnych powodów, np. niedostatecznej podaży niezbędnych zasobów – czasu, finansów, zasobów materialnych etc. W praktyce podejmowania decyzji często pojawia się także konieczność uwzględniania wpływu czynników o trudno mierzalnej, jakościowej naturze. W takich sytuacjach może pomóc zastosowanie porządkowych skal ocen (Walesiak, 2014), których kolejne stopnie wyrażają kolejne poziomy intensywności (kategorie) określonego czynnika. Z takiej możliwości skorzystano w szeregu metod wspomagania decyzji opracowanych jeszcze w latach 70. ubiegłego wieku, np. w DEcision MAking Trial and Evaluation Laboratory (DEMATEL) Fonteli i Gabusa (1976) czy w Analizie Hierarchicznej Procesów / Analizie Sieciowej Procesów – AHP/ANP Saaty'ego (1980; 1996). Metody te dobrze ilustrują sposób modelowania niedoskonałości w dostępnej informacji za pomocą porządkowych skal, polegający na kojarzeniu ich poszczególnych poziomów z kolejnymi liczbami całkowitymi. Taka budowa skali z jednej strony pomaga w wyrażeniu monotonicznego charakteru czynnika, a z drugiej – ułatwia przetwarzanie informacji.

Badania nad modelowaniem niedoskonałości informacji prowadzone począwszy od lat 60. ubiegłego wieku doprowadziły do opracowania szeregu narzędzi to umożliwiających. Należą do nich m.in. różne implementacje zbiorów rozmytych zaproponowanych pierwotnie przez Zadeha (1965), a także teoria dowodów Dempstera (1968) i Shafera (1976), zbiory przybliżone Pawlaka (1982) oraz systemy szare Denga (Liu i Lin, 2011). Obecnie powyższe narzędzia wykorzystywane są nie tylko samodzielnie, ale również w celu poszerzenia potencjału aplikacyjnego innych narzędzi – również takich jak wymienione wcześniej metody DEMATEL i AHP. W tym celu oryginalne porządkowe skale ocen takich metod podlegają

modyfikacji polegającej na zastąpieniu całkowitoliczbowego opisu jej poziomów np. liczbami rozmytymi.

Rozmyty opis poziomów skal ma zwykle parametryczny charakter. Parametry liczb rozmytych są wykorzystywane do wykonania odpowiednich obliczeń, w wyniku których otrzymuje się rezultaty o takiej samej (rozmytej) postaci. W celu ich wiarygodnej interpretacji przeprowadza się ich wyostrzenie, prowadzące do uzyskania ich ostrych, nierozmytych odpowiedników. Złożony, parametryczny charakter rozmytej reprezentacji informacji skutkuje także bardziej złożonym i pracochłonnym (niż w przypadku jej całkowito- i rzeczwiśtoliczbowej reprezentacji) przetwarzaniem danych.

Naturalnie nasuwa się więc istotne pytanie o to, czy rzeczywiście wprowadzanie nieostrej reprezentacji dostępnej informacji o niedoskonałym charakterze przynosi zawsze korzyści w porównaniu ze stosowaniem tradycyjnego, całkowitoliczbowego wyrażania zróżnicowania kategorii opisanych poszczególnymi poziomami tradycyjnej skali porządkowej. Poszukiwanie odpowiedzi na to pytanie wydaje się tym bardziej zasadne, że rozmyte warianty skali porządkowej dominują w publikacjach na temat zastosowań popularnych obecnie metod opracowanych z myślą o uwzględnianiu niedoskonałej informacji jeszcze w latach 70. XX wieku. Do takich metod należą DEMATEL i AHP/ANP, obecne w publikacjach wykazywanych w uznanych bazach bibliograficznych od lat 80. XX wieku (Wind i Saaty, 1980; Kawata, 1981). Co więcej, takiemu masowemu i zwykle bezrefleksyjnemu korzystaniu z rozmytych wariantów powyższych metod towarzyszy zwykle brak jakiegokolwiek próby jego racjonalnego uzasadnienia. Warto też zwrócić uwagę na to, że dzieje się tak nawet pomimo zdecydowanego i wszechstronnie uzasadnianego sprzeciwu, np. nie kogo innego, jak samego pomysłodawcy AHP/ANP (Saaty, 2006; Saaty i Tran, 2007). W odniesieniu do zastosowania jednej z najbardziej popularnych postaci liczb rozmytych w metodzie DEMATEL problem ten zasygnalizowano także w artykule Dytczaka i Gindy (2013).

W tym rozdziale monografii podjęto więc próbę odpowiedzi na pytanie o sens stosowania tradycyjnej, nierozmytej skali porządkowej w takich metodach jak DEMATEL i AHP/ANP w sytuacji, gdy istnieje możliwość wyrażania niedoskonałości dostępnej informacji w bardziej zaawansowany sposób. W podrozdziale 2 przypomniano zasady stosowania skali porządkowej w powyższych metodach. Podrozdział 3 poświęcono analizie porównawczej wyników stosowania oryginalnych i zmodyfikowanych postaci skal ocen w obu metodach. W ostatnim podrozdziale dokonano podsumowania i sformułowano wnioski na temat celowości rozmytej modyfikacji oryginalnych porządkowych skal ocen stosowanych w analizie decyzji oraz przydatności takich oryginalnych skal we współczesnej analizie decyzji.

2. Budowa i zasady stosowania skal porządkowych

Budowa i zasady stosowania porządkowych skal w analizie decyzji zostaną omówione na przykładzie metod DEMATEL i AHP/ANP. W pierwszej z nich skala porządkowa służy do różnicowania (abstrakcyjnie pojmowanego i konkretyzowanego

w trakcie właściwej analizy) bezpośredniego wpływu czynnika (obiektu etc.) na inny czynnik (obiekt etc.), natomiast w przypadku drugiej – do różnicowania relatywnie pojmowanego znaczenia (AHP) atrybutu modelu określonego zagadnienia decyzyjnego dla rozwiązania tego zagadnienia lub do różnicowania, także relatywnie pojmowanego, wpływu (ANP) atrybutu modelu na rozwiązanie tego zagadnienia. Obie powyższe metody wykorzystują porównania parami, realizowane w określonym kontekście i zdefiniowane przez strukturę modelu rozważanego zagadnienia. W przypadku metody DEMATEL taką strukturą jest sieć bezpośredniego wpływu, wyrażająca ukierunkowanie (zwrot) oddziaływań bezpośredniego wpływu składników modelowanego systemu. Natomiast struktura AHP/ANP, nazywana strukturą sterującą (*control structure*), przyjmuje w AHP postać hierarchiczną (*control hierarchy*) – wielopoziomowej hierarchii – lub sieci ANP (*control network*), pozwalającej na dodatkowe uwzględnianie sprzężeń (*feedback*) między elementami modelu.

Zróznicowanie intensywności oddziaływania bezpośredniego wpływu w metodzie DEMATEL oddaje porządkowa skala złożona z $N + 1$ poziomów. Zasadniczo do wyrażenia tego zróznicowania wykorzystywane są kolejne liczby całkowite, począwszy od zera, a na N skończywszy. W klasycznym ujęciu twórców metody (Fontela i Gabus, 1976) skala taka składała się z pięciu poziomów o następującym znaczeniu:

1. brak bezpośredniego oddziaływania (intensywność oddziaływania równa 0),
2. niski bezpośredni wpływ (intensywność 1),
3. przeciętny bezpośredni wpływ (intensywność 2),
4. wysoki bezpośredni wpływ (intensywność 3),
5. ekstremalny wpływ (intensywność $N = 4$).

Z oryginalnych publikacji twórców metody (Fontela i Gabus, 1973) wynika, że ich zasadniczym celem było opracowanie metodyki, która pomogłaby w uwzględnianiu jakościowego charakteru bezpośrednich powiązań i – stanowiących rezultat jej zastosowania – pośrednich powiązań między elementami systemu analizowanego przez Fontelę i Gabusa, na który składały się problemy ówczesnego świata. Właśnie takiemu celowi posłużyło ostatecznie zastosowanie opisu zróznicowania intensywności bezpośredniego wpływu za pomocą ciągu kolejnych liczb całkowitych. Zastosowanie takiej reprezentacji intensywności oddziaływania ma także inne zalety. Po pierwsze, ograniczony stopień zróznicowania poziomów skali ułatwia, wskutek dostosowania do możliwości percepcyjnych człowieka (Miller, 1956), pozyskiwanie wiarygodnych opinii na temat intensywności bezpośredniego wpływu analizowanych czynników. Po drugie, ułatwia ono przetwarzanie informacji o strukturze tego wpływu. Zalety te wydatnie uwidoczniły właśnie efekty realizacji programu badawczego, na potrzeby którego została opracowana metoda DEMATEL (Ginda, 2020).

W praktyce stosowane są obecnie skale metody o dowolnej, dostosowanej do konkretnych potrzeb liczbie poziomów zróznicowania intensywności oddziaływania bezpośredniego wpływu. W takich skalach jest zawsze wykorzystywany poziom zerowy. Dowolną całkowitoliczbową skalę można więc jednoznacznie określać symbolem $0-N$, w którym N jest liczbą całkowitą wyrażającą ekstremalny poziom intensywności bezpośredniego wpływu.

Począwszy od połowy pierwszej dekady po 2000 roku, mają miejsce próby adaptacji metody DEMATEL do przetwarzania informacji o niedoskonałym charakterze. Początkowo starano się to realizować za pomocą standardowych środków, a więc również tradycyjnego sposobu modelowania bezpośredniego wpływu, np. dzięki zastosowaniu podejścia stochastycznego, wykorzystującego symulacje (Tamura i in., 2006). W tym samym niemal czasie zaczęły się pojawiać dalej posunięte propozycje, zmiany sposobu wyrażania niedoskonałego charakteru informacji w samej metodzie np. dzięki opisowi poszczególnych poziomów intensywności bezpośredniego wpływu za pomocą zbiorów rozmytych pierwszego rodzaju (Wu i Lee, 2007). W następnych latach pojawiały się kolejne propozycje modyfikacji, np. związane z zastosowaniem systemów szarych (Tseng, 2009) oraz zbiorów rozmytych rodzaju drugiego (Bokaei Hosseini i Tarokh, 2011).

Przejdźmy teraz do skali stosowanej w AHP/ANP. W tym przypadku znalazła zastosowanie oryginalna, uniwersalna skala porównań parami Saaty'ego. Bazuje ona na psychologicznym prawie 7 ± 2 Millera (1956). Dlatego składa się ona z pięciu podstawowych poziomów, opisanych pierwszymi pięcioma nieparzystymi liczbami naturalnymi. Wyrażają one różnicę między porównywanymi parami atrybutami modelu zagadnienia decyzyjnego w odniesieniu do kontekstowego znaczenia dla rozwiązania (AHP) lub kontekstowego wpływu (ANP) na rozwiązanie określonego zagadnienia decyzyjnego. Poszczególne poziomy oznaczają:

- poziom pierwszy (standardowa ocena równa 1) – brak różnicy między atrybutami;
- poziom drugi (ocena 3) – niewielka przewaga pierwszego z porównywanych w ramach pary atrybutów;
- poziom trzeci (ocena 5) – wyraźna przewaga pierwszego atrybutu;
- poziom czwarty (ocena 7) – bardzo duża przewaga pierwszego atrybutu;
- poziom piąty (ocena 9) – ekstremalna przewaga pierwszego atrybutu.

Powyższe poziomy oddają pewność decydenta co do właściwej oceny relacji między porównywanymi atrybutami. AHP/ANP umożliwia wyrażanie wahania decydenta. W tym celu stosowane są cztery pośrednie poziomy skali, opisane naturalnymi liczbami – odpowiednio 2, 4, 6 i 8. Dzięki zastosowaniu zasady odwrotności (*reciprocity rule*) ocen relacji łączącej porównywane atrybuty do wyrażenia przewagi drugiego atrybutu (spośród atrybutów porównywanych w ramach par) stosuje się odwrotność oceny odpowiadającej określonej skali.

Dziesięciostopniowa skala ocen stanowi niekwestionowany standard w AHP/ANP. Oceny skojarzone z jej kolejnymi poziomami mogą jednak przyjmować różne wartości ostre. Na przykład w książce Dytczaka (2010) wymieniono aż 13 takich dodatkowych wariantów skal. Podobnie jak w przypadku metody DEMATEL skala ocen AHP/ANP doczekała się także szeregu modyfikacji polegających na zastosowaniu różnych sposobów wyrażania oceny relacji między atrybutami modeli zagadnień. Najczęściej polegają one na zastosowaniu w tym celu liczb rozmytych (Laarhoven i Pedrycz, 1983, Liu i in., 2020), choć pojawiają się i inne pomysły. Przykładowo Lin i in. (2004) zaproponowali użycie w tym celu systemów szarych, a Alam i Shrabanti (2002) – zbiorów przybliżonych.

Porównania parami realizowane są w ramach grup atrybutów modelu AHP, tworzących określony poziom jego hierarchicznej struktury lub skupienie atrybutów w modelu ANP zagadnienia decyzyjnego. Na podstawie pełnego zestawu ocen relacji między atrybutami budowana jest kwadratowa macierz ocen (*judgment matrix*). Jej kolejne wiersze i kolumny poświęcone są kolejnym atrybutom modelu tworzącym grupę lub skupienie. Zawartość wierszy macierzy odpowiada sytuacjom, w których dany atrybut, któremu poświęcony jest wiersz, występuje w parach jako pierwszy, a zawartość kolumn – sytuacjom, w których taki atrybut występuje jako drugi element pary. Dlatego macierz ocen jest zawsze macierzą odwrotną (*reciprocal matrix*) ze wszelkimi tego konsekwencjami. Macierz ta stanowi także uniwersalną podstawę opisu kontekstowej relacji znaczenia (AHP) lub wpływu (ANP) łączącej poszczególne atrybuty grupy lub skupienia, a także – wyznaczania priorytetu wyrażającego relatywne znaczenie lub wpływ poszczególnych atrybutów.

W wariancie AHP/ANP z ostrymi ocenami dostępne są liczne sposoby wyznaczania priorytetów (Choo i Wedley, 2004). Obejmują one m.in. zalecaną przez pomysłodawcę AHP (Saaty, 2003) metodę prawostronnego wektora własnego macierzy ocen REV (*right eigen vector*), metodę potęgowania macierzy ocen (*power method* – PM), metodę średniej geometrycznej SGM (*simple geometric mean*) (Kwiesielewicz, 2002), a także metody przybliżone, jak np. SNCS (*simple normalized column sum*). Niektóre spośród tych metod znalazły zastosowanie także w przypadku nieostrej oceny relacji między atrybutami. Przykładowo Buckley (1984) zaadaptował SGM do przypadku stosowania liczb rozmytych I rodzaju i właśnie z tej możliwości skorzystano w dalszej części pracy.

3. Przykładowa analiza

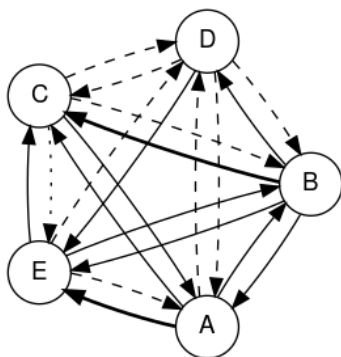
3.1. DEMATEL

W celu ilustracji potencjalnych efektów stosowania rozmytego modelowania bezpośredniego wpływu w metodzie DEMATEL posłużono się przykładem opisanym szczegółowo w pracy Dytczaka i Gindy (2013). Dotyczy on zagadnienia identyfikacji struktury całkowitego wpływu związanej z czterema obiektami oznaczanymi kolejnymi dużymi literami A–E. Strukturę bezpośredniego wpływu zdefiniowano na podstawie klasycznej, czterostopniowej skali Fonteli i Gabusa. Ilustruje ją tabela 1, w której wierszach zestawiono przyjęte poziomy intensywności bezpośredniego wpływu, odpowiadające wpływowi na inne obiekty, a w kolumnach – intensywność bezpośredniego wpływu innych obiektów. Strukturę bezpośredniego wpływu przedstawiono także na rysunku 1, posługując się w tym celu digrafem. Jego wierzchołki oznaczają kolejne obiekty, a łuki – kierunek i intensywność bezpośredniego wpływu. Zróznicowanie intensywności bezpośredniego wpływu wyrażono w nim za pomocą różnych krojów linii jego łuków, począwszy od kroju punktowego, odpowiadającego najniższemu poziomowi intensywności, przez kroje kreskowy i ciągły, a na kroju pogrubionym, odpowiadającym ekstremalnemu poziomowi bezpośredniego wpływu, skończywszy.

Tabela 1

Założona struktura bezpośredniego wpływu obiektów

Obiekt	A	B	C	D	E
A	0	3	3	2	4
B	3	0	4	3	3
C	3	2	0	2	1
D	2	2	2	0	3
E	2	3	3	2	0



Rys. 1. Ilustracja założonej struktury bezpośredniego wpływu

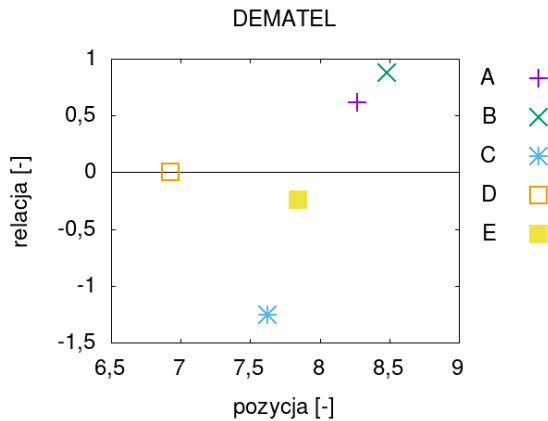
Na podstawie obliczeń, zrealizowanych za pomocą oryginalnego algorytmu Fonteli i Gabusa (1976), dla każdego z obiektów otrzymano – w pracy Dytczaka i Gindy (2013) – zasadniczy wynik zastosowania metody DEMATEL, czyli parę dwóch wskaźników. Pierwszy z nich (s^+) jest nazywany pozycją lub prominencją (*position, prominence*) i wyraża ogólny udział obiektu w oddziaływaniach obiektów, uwzględniających ich bezpośredni i pośredni wpływ. Na jego podstawie można więc stwierdzać ogólną „aktywność” poszczególnych obiektów, polegającą na ich udziale w oddziaływaniach między obiektami. Natomiast wskaźnik drugi (s^-) określa się mianem relacji (*relation*). Służy on do rozróżniania obiektów stanowiących zasadnicze przyczyny (zidentyfikowane na podstawie wyraźnie dodatnich wartości tego wskaźnika) oddziałujące na inne obiekty (skutki) – zidentyfikowane na podstawie wyraźnie ujemnych wartości tego wskaźnika. Zauważmy, że okołozerowe wartości wskaźnika s^- wyrażają neutralny charakter obiektów. Powyższa forma rezultatów metody – wyników identyfikacji charakteru obiektów – wyraźnie wyraża więc jej jakościowy charakter.

Wartości otrzymanych wskaźników zestawiono w tabeli 2. W jej ostatniej kolumnie wyjaśniono zidentyfikowany charakter obiektu (przyczynowy – P, skutkowy – S lub neutralny – N). Na rysunku 2 zaprezentowano wykres pokazujący rozmieszczenie punktów reprezentujących obiekty A i B w dwuwymiarowej przestrzeni wskaźników s^+ i s^- .

Tabela 2

Wyniki zastosowania założonej struktury bezpośredniego wpływu

Obiekt	s^+	s^-	P/S
A	8,2657	0,6151	P
B	8,4812	0,8805	P
C	7,6256	-1,255	S
D	6,9252	0	N
E	7,8411	-0,24	S



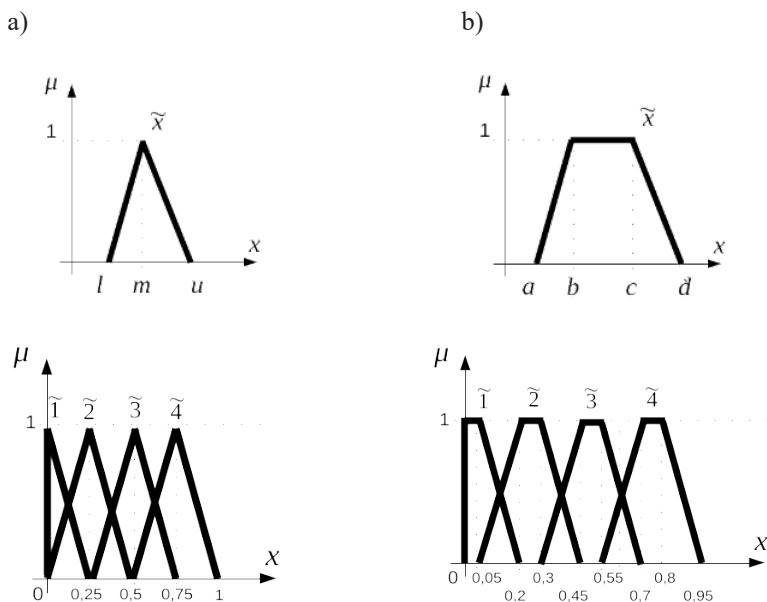
Rys. 2. Wyniki zastosowania standardowej postaci danych w metodzie DEMATEL

Na podstawie rezultatów zastosowania standardowego sposobu wyrażenia intensywności bezpośredniego wpływu można więc stwierdzić, że podstawowymi przyczynami są obiekty B i A, natomiast najbardziej wyraźnym skutkiem oddziaływania innych obiektów okazał się obiekt C. Wobec niewielkiej, ujemnej wartości wskaźnika relacji za drugi, dużo mniej wyraźny skutek można uznać obiekt E. Obiekt D charakteryzuje zerowa wartość tego wskaźnika. Wobec tego można go z pewnością uznać za obiekt neutralny. Najsilniej powiązаныmi z innymi obiektami okazały się obiekty A i B, a najsłabiej – D.

W pracy Dytczaka i Gindy (2013) zaprezentowano również wyniki zastosowania metody DEMATEL z wykorzystaniem skali ocen analogicznej w stosunku do oryginalnej propozycji 0–4 Fonteli i Gabusa, ale o poziomach intensywności bezpośredniego wpływu wyrażonych za pomocą trójkątnych liczb rozmytych (*triangular fuzzy number* – TFN) (zob. rys. 3a). W obecnej pracy zastosowano dodatkowo analogiczną skalę o poziomach bezpośredniego wpływu opisanych przy użyciu rozmytych liczb trapezowych (*trapezoidal fuzzy number* – TrFN) (zob. rys. 3b).

Odpowiednio zastępując w strukturze bezpośredniego wpływu (tab. 1, rys. 1) ostre oceny intensywności bezpośredniego wpływu ich rozmytymi odpowiednikami (pokazanymi na rysunku 3), można wyrazić intensywność bezpośrednie-

go wpływu za pomocą jednej z form liczb rozmytych – TFN lub TrFN (zob. tab. 3 i 4). Parametryczna forma liczb rozmytych – trójelementowa w przypadku zastosowania TFN (ostre parametry l, m, u) oraz czteroelementowa w przypadku zastosowania TrFN (ostre parametry a, b, c, d) – sprzyja (powszechnie stosowanej) dekompozycji obliczeń na (odpowiednio) trzy (Dytczak i Ginda, 2013) lub cztery części (Hiete i in., 2012), wykorzystujące ostrą reprezentację kolejnych parametrów liczb rozmytych. Przy tym założono, że – podobnie jak w przypadku pracy Dytczaka i Gindy (2013) – brakowi bezpośredniego wpływu przyporządkujemy następujące formalne postacie jego rozmytej reprezentacji: $(0;0;0)$ lub $(0;0;0;0)$.



Rys. 3. Wybrane parametryczne postacie rozmytych skal porządkowych: a) TFN; b) TrFN

Tabela 3
Oceny intensywności bezpośredniego wpływu (TFN)

Obiekt	A	B	C	D	E
A	(0;0;0)	(0,25;0,5;0,75)	(0,25;0,5;0,75)	(0;0,25;0,5)	(0,5;0,75;1)
B	(0,25;0,5;0,75)	(0;0;0)	(0,5;0,75;1)	(0,25;0,5;0,75)	(0,25;0,5;0,75)
C	(0,25;0,5;0,75)	(0;0,25;0,5)	(0;0;0)	(0;0,25;0,5)	(0;0;0,25)
D	(0;0,25;0,5)	(0;0,25;0,5)	(0;0,25;0,5)	(0;0;0)	(0,25;0,5;0,75)
E	(0;0,25;0,5)	(0,25;0,5;0,75)	(0,25;0,5;0,75)	(0;0,25;0,5)	(0;0;0)

Tabela 4
Oceny intensywności bezpośredniego wpływu (TrFN)

Obiekt	A	B	C	D	E
A	(0;0;0;0)	(0,3;0,45;0,55;0,7)	(0,3;0,45;0,55;0,7)	(0,05;0,2;0,3;0,45)	(0,55;0,7;0,8;0,95)
B	(0,3;0,45;0,55;0,7)	(0;0;0;0)	(0,55;0,7;0,8;0,95)	(0,3;0,45;0,55;0,7)	(0,3;0,45;0,55;0,7)
C	(0,3;0,45;0,55;0,7)	(0,05;0,2;0,3;0,45)	(0;0;0;0)	(0,05;0,2;0,3;0,45)	(0;0;0,05;0,2)
D	(0,05;0,2;0,3;0,45)	(0,05;0,2;0,3;0,45)	(0,05;0,2;0,3;0,45)	(0;0;0;0)	(0,3;0,45;0,55;0,7)
E	(0,05;0,2;0,3;0,45)	(0,3;0,45;0,55;0,7)	(0,3;0,45;0,55;0,7)	(0,05;0,2;0,3;0,45)	(0;0;0;0)

Po agregacji wyników częściowych obliczeń otrzymano rozmyte reprezentacje wskaźników pozycji i relacji. Zestawiono je w tabeli 5 (TFN) i 6 (TrFN). Dla interpretacji ostatecznych wyników wymagane jest przekształcenie liczb rozmytych reprezentujących obydwa wskaźniki w liczby rzeczywiste. W pracy Dytczaka i Gindy (2013) zastosowano w tym celu ogólnie znaną metodykę środka ciężkości CoG (*center of gravity*). W celu zweryfikowania możliwości wpływu sposobu wyostrażania rozmytych wyników na ostateczne wyniki analizy w obecnej pracy dodatkowo użyto w tym celu metody CFCS (*converting fuzzy data into crisp scores*) Opricovica i Tzenga (2003). Oryginalnie opracowano ją z myślą o zastosowaniu w odniesieniu do trójkątnych liczb rozmytych. W przypadku wyostrażania trapezowych liczb rozmytych wykorzystano więc jego modyfikację (Hiete i in., 2012). Rezultaty wyostrażania wyników zostały ostatecznie przedstawione w tabeli 7 i 8, natomiast ich ilustracja – na rysunkach 4 i 6.

Otrzymane wyniki wskazują również na to, że w zależności od przyjętej formy wyrażenia intensywności bezpośredniego wpływu otrzymujemy różne wartości podstawowych wskaźników wynikających z zastosowania metody DEMATEL. Różnice między wartościami wskaźników wydają się jednak nie mieć wpływu na wyniki ostatecznej identyfikacji, zwłaszcza zasadniczych przyczyn i skutków. Pewne istotne różnice w stosunku do standardowych wyników (zob. rys. 2) zaobserwowano bowiem jedynie w przypadku wyostrażania rozmytych wyników zastosowania trapezowej postaci liczb rozmytych za pomocą metody CFCS (por. prawy wykres na rysunku 5 z rysunkiem 2). Wszelkie wątpliwości co do jakościowej zgodności ze standardowymi rezultatami zastosowania metody DEMATEL ostatecznie wyjaśnia jednak fragment wykresu pokazany na rysunku 6.

Tabela 5
Wyniki zastosowania metody DEMATEL (TFN)

Obiekt	\tilde{s}^+	\tilde{s}^-
A	(2,4951;5,2278;8,2657)	(0,7104;0,613;0,6151)
B	(2,6341;5,3968;8,4812)	(0,9159;0,8627;0,8805)
C	(2,1233;4,5744;7,6256)	(-1,0822;-1,2664;-1,2551)
D	(0,7436;3,8307;6,9252)	(0;0;0)
E	(2,2622;4,7434;7,8411)	(-0,544;-0,2093;-0,2405)

Tabela 6
Wyniki zastosowania metody DEMATEL (TrFN)

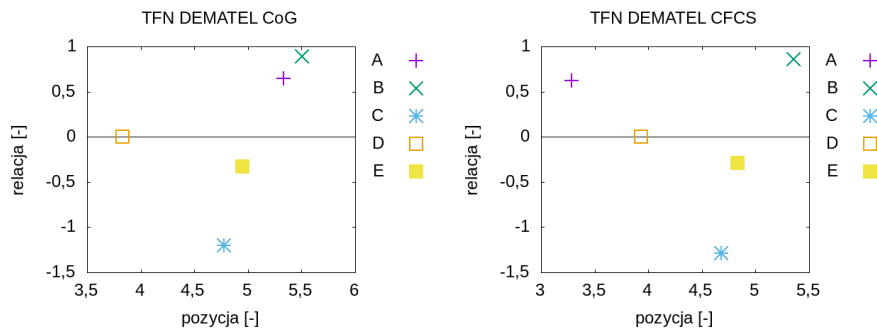
Obiekt	\tilde{s}^+	\tilde{s}^-
A	(0,8596;1,8725;3,0751;7,6558)	(0,2096;0,2653;0,3358;0,6149)
B	(0,9364;1,9624;3,1868;7,8647)	(0,2935;0,3763;0,4786;0,8778)
C	(0,7317;1,6242;2,7238;7,0139)	(0,337;-0,514;-0,687;-1,257)
D	(0,4025;1,2889;2,3355;6,3074)	(0;0;0;0)
E	(0,8085;1,7142;2,8354;7,2228)	(-0,166;-0,128;-0,127;-0,236)

Tabela 7
Rezultaty wyostrzenia wyników zastosowania metody DEMATEL (TFN)

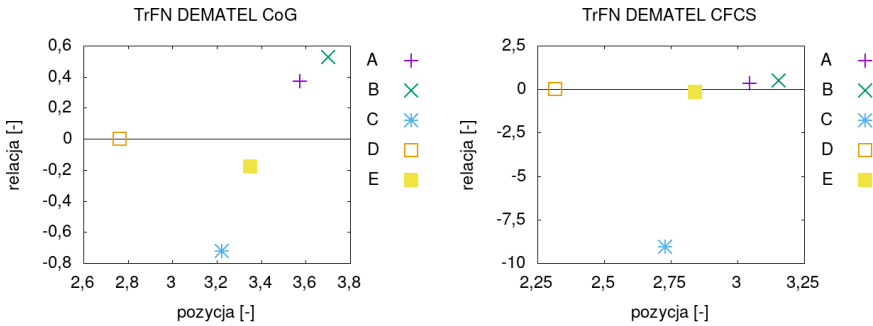
Obiekt	CoG			CFCS		
	s^+	s^-	P/S	s^+	s^-	P/S
A	5,3295	0,6462	P	3,2852	0,6217	P
B	5,504	0,8864	P	5,3549	0,8618	P
C	4,7744	-1,2012	S	4,6772	-1,2882	S
D	3,8332	0	N	3,9309	0	N
E	4,9489	-0,3313	S	4,8296	-0,2912	S

Tabela 8
Rezultaty wyostrzenia wyników zastosowania metody DEMATEL (TrFN)

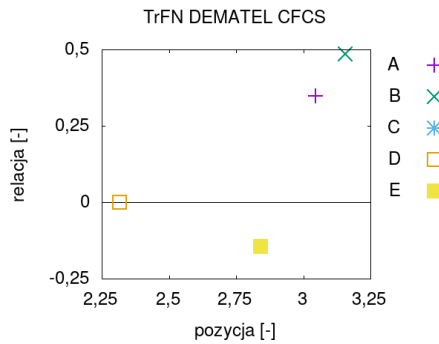
Obiekt	CoG			CFCS		
	s^+	s^-	P/S	s^+	s^-	P/S
A	3,5737	0,3695	P	3,0457	0,3474	P
B	3,7005	0,5251	P	3,1551	0,4851	P
C	3,2222	-0,721	S	2,7277	-9,0781	S
D	2,7633	0	N	2,3159	0	N
E	3,349	-0,177	S	2,8401	-0,1434	S



Rys. 4. Wyniki zastosowania standardowej postaci danych w metodzie DEMATEL (TFN)



Rys. 5. Wyniki zastosowania standardowej postaci danych w metodzie DEMATEL (TrFN)



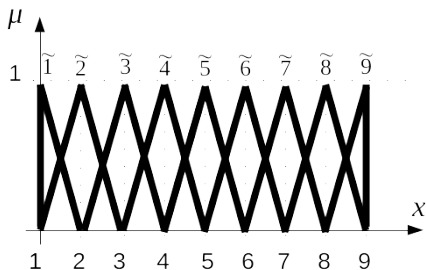
Rys. 6. Wyniki zastosowania standardowej postaci danych w metodzie DEMATEL (TrFN, CFCS)

Porównanie poszczególnych wyników uzyskanych w kontekście ogólnej siły powiązań obiektów, która wyraża wskaźnik pozycji, wskazuje jednak na nieprawidłowość, która towarzyszy wykorzystaniu metody CFCS do wyostrenia wyników zastosowania trójkątnych liczb rozmytych. Z porównania prawego wykresu na rysunku 4 z wykresem na rysunku 2 wynika bowiem, że sugeruje on niewłaściwą (niską) aktywność obiektu A. Nieprawidłowość ta wskazuje więc na niebezpieczeństwo istotnej wrażliwości zasadniczych jakościowych wyników stosowania metody DEMATEL. Być może są za to odpowiedzialne pewne kombinacje rozmytej formy wyrażania intensywności bezpośredniego wpływu i sposobów wyostrenia wyników ich stosowania. Ostateczne potwierdzenie takiej hipotezy wymaga jednak oczywiście przeprowadzenia odpowiednich badań.

3.2. AHP

Na rysunku 7 pokazano typową skalę AHP o poziomach opisanych trójkątnymi liczbami rozmytymi. Dla zilustrowania jej zastosowania posłużono się obliczeniami związanymi z szacowaniem relatywnego znaczenia pięciu przykładowych obiektów oznaczonych – podobnie jak w przykładzie dotyczącym metody DEMATEL – pięcioma kolejnymi

literami alfabetu łącińskiego: A–E. Przykładowy komplet ostrych ocen, wynikający z porównań znaczenia obiektów parami i spełniający szczegółowe wymagania metody AHP/ANP co do spójności ocen, przedstawiono w tabeli 9. W tabeli 10 przedstawiono jego rozmyto liczbowy odpowiednik, wynikający z zastosowania skali z rysunku 7.



Rys. 7. Wyniki zastosowania standardowej postaci danych w metodzie DEMATEL (TrFN, CFCS)

Tabela 9

Przykładowy zestaw ocen AHP

Obiekt	A	B	C	D	E
A	1	1/3	3	1/5	4
B	3	1	5	1/3	6
C	1/3	1/5	1	1/7	3
D	5	3	7	1	9
E	1/4	1/6	1/3	1/9	1

Tabela 10

Przykładowy zestaw ocen AHP – przypadek rozmyty

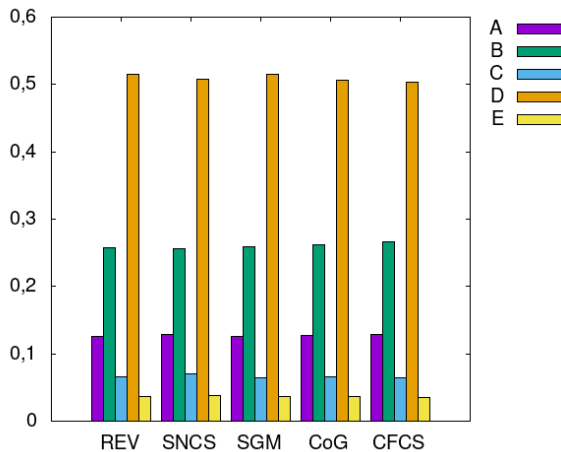
Obiekt	A	B	C	D	E
A	(1;1;1)	(1/4;1/3;1/2)	(2;3;4)	(1/6;1/5;1/4)	(3;4;5)
B	(2;3;4)	(1;1;1)	(4;5;6)	(1/4;1/3;1/2)	(5;6;7)
C	(1/4;1/3;1/2)	(1/6;1/5;1/4)	(1;1;1)	(1/8;1/7;1/6)	(2;3;4)
D	(4;5;6)	(2;3;4)	(6;7;8)	(1;1;1)	(8;9;9)
E	(1/5;1/4;1/3)	(1/7;1/6;1/5)	(1/4;1/3;1/2)	(1/9;1/9;1/8)	(1;1;1)

Ostatecznie do oszacowania relatywnego znaczenia (czyli priorytetów) obiektów wykorzystano w przypadku ostrych ocen trzy różne metody: REV, SGM i SNCS. Do wyostrzenia rozmytych rezultatów zastosowania podejścia Buckleya (1984) wykorzystano metody CoG i CFCS. Otrzymane znormalizowane zestawy priorytetów zawarto w tabeli 11. Dodatkowo w ostatnim wierszu tabeli przedstawiono wartości

średniokwadratowego błędu MSE (*mean squared error*), odniesionego do wyników zastosowania, rekomendowanej przez Saaty'ego, metody ustalania priorytetów. Wyniki analizy zaprezentowano również na rysunku 8. Przedstawiony tam wykres wskazuje na to, że pomimo liczbowych różnic pomiędzy rezultatami wykorzystania poszczególnych sposobów priorytyzacji obiektów jej rezultaty wykazują niemal zupełnie zgodny charakter. Na charakter otrzymanych rezultatów nie wpłynęła istotnie także zmiana formy oceny – z ostrej na rozmytą.

Tabela 11
Wyniki zastosowania AHP

Obiekt	REV	SGM	SNCS	CoG	CFCS
A	0,1252	0,1253	0,129	0,128	0,129
B	0,2578	0,2587	0,2559	0,2621	0,2663
C	0,0652	0,0643	0,0698	0,0657	0,065
D	0,5157	0,5158	0,5079	0,507	0,5039
E	0,0362	0,0359	0,0375	0,0372	0,0358
MSE	0	$2 \cdot 10^{-7}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-5}$



Rys. 8. Wyniki zastosowania standardowej postaci danych w metodzie DEMATEL (TrFN, CFCS)

4. Podsumowanie

Postęp w modelowaniu niedoskonałości dostępnej informacji doprowadził w ciągu ostatnich ponad pięciu dekad do opracowania licznych narzędzi ułatwiających, a często nawet w ogóle umożliwiających takie modelowanie. Narzędzia takie są również używane do doskonalenia tradycyjnych metod analizy decyzji – także takich, które zosta-

ły już oryginalnie opracowane z myślą o uwzględnianiu niedoskonałości w dostępnej informacji i w których zastosowano w tym celu porządkowe, nierozmyte skale ocen. Ponieważ fakt stosowania takich modyfikacji sugeruje brak przydatności tradycyjnych skal porządkowych, a w publikacjach poświęconych zastosowaniu takich modyfikacji na ogół brakuje ich racjonalnego uzasadnienia, to niniejszą pracę poświęcono próbie sprawdzenia, czy takie modyfikacje zawsze przynoszą wymierne korzyści.

Zaprezentowane w pracy wyniki analiz porównawczych związanych ze stosowaniem oryginalnych i zmodyfikowanych – za pomocą liczb rozmytych – skal porządkowych dwóch popularnych metod analizy decyzji potwierdzają, że taka zmiana sposobu wyrażenia poziomów porządkowej skali ocen nie tylko skutkuje istotnie bardziej złożonymi obliczeniami, ale również dodatkową wrażliwością np. na zastosowany sposób wyostrzania rozmytych rezultatów obliczeń, które jest niezbędne do ich zinterpretowania.

Do modyfikacji tradycyjnego wyrażania poziomów skal porządkowych, zwłaszcza przy użyciu liczb rozmytych, należy więc podchodzić z dużą ostrożnością. Tym bardziej że samo zastosowanie nietradycyjnego – nieostrego – ujęcia stopni skali porządkowej bywa komunikowane w publikacjach naukowych jako oryginalny wkład – a nawet wręcz odkrycie – ich autorów. Etyka badacza i zwyczajna uczciwość sugeruje, by w takich sytuacjach autorzy zawsze udowadniali zasadność wprowadzanych modyfikacji, np. dzięki rzetelnemu porównaniu wyników własnych analiz z wynikami zastosowania tradycyjnych sposobów wyrażania stopni skali porządkowej.

Odpowiadając na zasadnicze pytanie sformułowane we wprowadzeniu, można więc stwierdzić, że tradycyjnie definiowane porządkowe skale ocen – takie, jak w metodzie DEMATEL i AHP/ANP – wcale nie są obecnie skazane na zapomnienie. Zapewne również dlatego, że ułatwiają kultywację popularnej w świecie nauki i techniki idei „małe jest piękne” (Chen i in., 2015), wynikającej z fascynacji zadziwiająco skuteczną prostoty w otaczającej nas naturze. Zachęca ona bowiem do opracowywania bardzo prostych i adekwatnych sposobów modelowania rzeczywistości, sprzyjających niezawodności.

Literatura

- Alam S.S., Shrabonti G., 2002: *Ranking by AHP: A rough approach*, [w:] *Proceedings of the Fifth International Conference on Information Fusion. FUSION 2002*, vol. 1, s. 185–190, IEEEExplore, <https://doi.org/10.1109/ICIF.2002.1021149>.
- Bokaei Hosseini M., Tarokh M.J., 2011: *Interval type-2 fuzzy set extension of DEMATEL method*, [w:] *1st International Conference on Computational Intelligence and Information technology, CIIT 2011, POune, India, Nov 7–8*, s. 157–165.
- Buckley J.J., 1984: *The multiple-judge, multiple criteria ranking problem: A fuzzy set approach*, *Fuzzy Sets and Systems*, vol. 13, iss. 1, s. 25–37.
- Chen W., Li X., Zeng D.D., 2015: *Simple is beautiful: Toward light prediction markets*, *IEEE Intelligent Systems*, vol. 30, iss. 3, s. 76–80.
- Choo E.U., Wedley W.C., 2004: *A common framework for deriving preference values from pairwise comparison matrices*, *Computers & Operations Research*, vol. 31, iss. 6, s. 893–908.

- Dempster A.P., 1968: *A generalization of Bayesian inference*, Journal of Royal Statistical Society, Series B, vol. 30, s. 205–232.
- Dytczak M., 2010: *Wybrane metody rozwiązywania wielokryterialnych problemów decyzyjnych w budownictwie*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Opolskiej, Opole.
- Dytczak M., Ginda G., 2013: *Is explicit processing of fuzzy direct influence evaluations in DEMATEL indispensable?*, Expert Systems with Applications, vol. 40, iss. 12, s. 5027–5032.
- Fontela E., 1974: *DEMATEL 1973 Report: analytical methods*, Batelle–Geneva.
- Fontela E., Gabus A., 1973: *World problems: an invitation to further thought (Technical report)*, Batelle–Geneva.
- Fontela E., Gabus A., 1976: *DEMATEL Observer. DEMATEL 1976 Report*, Batelle Memorial Institute, Geneva.
- Forlicz S., 2001: *Niedoskonała wiedza podmiotów rynkowych*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Ginda G., 2020: *Good news for DEMATEL users: the original potential of the method is still awaiting full exploitation*, [w:] Stankevičienė J. i in. (ed.), *11th International Scientific Conference “Business and Management 2020”*, May 7–8, 2020, Vilnius, Lithuania, s. 316–325.
- Hiete M., Merz M., Comes T., Schultmann F., 2012: *Trapezoidal fuzz DEMATEL method to analyze and correct for relations between variables in a composite indicator for disaster resilience*, OR Spectrum, vol. 34, iss. 4, s. 971–995.
- Kawata T., 1981: *An attempt of multivariate data analysis and Dematel to develop the academic intelligent system. The report of dental education as it ought to be*, Shikai Tenbo = Dental Outlook, vol. 57, iss. 6, s. 1327–1333.
- Kwiesielewicz M., 2002: *Analizy hierarchiczny proces decyzyjny. Nierozmyte i rozmyte porównania parami*, Instytut Badań Systemowych PAN, Warszawa.
- Laarhoven P.J.M., van, Pedrycz W., 1983: *A fuzzy extension of Saaty’s priority theory*, Fuzzy Sets and Systems, vol. 11, iss. 1–3, s. 229–241.
- Lin C.T., Hwang S.N., Chan C.H., 2004: *Grey number for AHP model: An application of grey relational analysis*, [w:] *Conference Proceeding. IEEE International Conference on Networking, Sensing, and Control*, Taipei, Taiwan, march 21–23, vol. 1, s. 226–230.
- Liu S., Lin Y., 2011: *Grey Systems: Theory and Applications*, Springer-Verlag Berlin–Heidelberg
- Liu Y., Eckert C.M., Earl C., 2020: *A review of fuzzy AHP methods for decision making with subjective judgments*, Expert Systems with Applications, vol. 161, 113738.
- Miller G.A., 1956: *The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information*, Psychological Review, vol. 63, iss. 2, s. 81–97.
- Opricovic S., Tzeng G.H., 2003: *Defuzzification within a multicriteria decision model*, International Journal of Uncertainty Fuzziness and Knowledge-Based Systems, vol. 11, iss. 5, s. 635–652.
- Pawlak Z., 1982: *Rough Sets*, International Journal of Parallel Programming, vol. 11, iss. 5, s. 341–356.
- Saaty T.L., 1980: *The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation*, McGraw-Hill, New York.

- Saaty T.L., 1996: *Decision Making with Dependence and Feedback. The Analytic Network Process. The Organization and Prioritization of Complexity*, RWS, Pittsburgh.
- Saaty T.L., 2003: *Decision-making with the AHP: Why is the principal eigenvector necessary*, European Journal of Operational Research, vol. 145, iss. 1, s. 85–91.
- Saaty T.L., 2006: *There is no mathematical validity for using fuzzy number crunching in the analytic hierarchy process*, Journal of Systems Science and Systems Engineering, vol. 15, iss. 4, s. 457–464.
- Saaty T.L., Tran L.T., 2007: *On the invalidity of fuzzifying numerical judgments in the Analytic Hierarchy Process*, Mathematical and Computer Modelling: An International Journal, vol. 46, iss. 7–8, s. 962–975.
- Shafer G., 1976: *A Mathematical Theory of Evidence*, Princeton University Press, Princeton.
- Tamura H., Okanishi H., Akazawa K., 2006: *Decision support for extracting and dissolving consumers' uneasiness over foods using stochastic DEMATEL*, Journal of Telecommunications and Information Technology, nr 4, s. 91–95.
- Tseng M.L., 2009: *A casual and effect decision making model of service quality expectation using grey-fuzzy DEMATEL approach*, Expert Systems with Applications, vol. 36, iss. 4, s. 7738–7748.
- Walesiak M., 2014: *Wzmacnianie skali pomiaru dla danych porządkowych w statystycznej analizie wielowymiarowej*, [w:] Jajuga K., Walesiak M. (red. nauk.), *Klasyfikacja i analiza danych – teoria i zastosowania*, Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego, Wrocław, s. 60–68, „Prace naukowe UE we Wrocławiu” nr 327, „Taksonomia” nr 22.
- Wind Y., Saaty T.L., 1980: *Marketing Applications of the Analytic Hierarchy Process*, Management Science, vol. 26, iss. 7, s. 641–658.
- Wu W.W., Lee Y.T., 2007: *Developing global managers' competencies using the fuzzy DEMATEL method*, Expert Systems with Applications, vol. 32, iss. 2, s. 499–507.
- Zadeh L.A., 1965: *Fuzzy Sets*, Information and Control, vol. 8, iss. 3, s. 338–353.

SUITABILITY OF ORDINARY CRISP SCALE FOR CONTEMPORARY DECISION ANALYSIS

Summary: Decision-making support in modern enterprises requires taking into account the imperfect nature of the information available. One of the traditional tools for modelling the impact of such information are ordinal scales for assessing the attributes of objects, e.g. available decision alternatives and their qualitative attributes. However, the degrees of such scales are often additionally expressed using advanced tools for modelling imperfect information, e.g. fuzzy numbers, the use of which results in an excessive computational effort. Thus, the simultaneous use of both ways of capturing the imperfect character of information raises doubts. Therefore, the study attempts to assess whether this method of modifying ordinal scales brings real benefits compared to the results obtained thanks to expressing the degrees of the scale in a simpler, non-blurred manner. The theoretical considerations are illustrated in the paper on the basis of the application of two popular decision analysis tools.

Keywords: decision, analysis, assessment, ordinal scale, fuzzy scale, suitability