

METODY WIELOKRYTERIALNE WSPOMAGANIA DECYZJI ORAZ ICH ZASTOSOWANIE W OPRACOWANIU METODY OCENY NIEPOTOKOWYCH PROCESÓW PRODUKCYJNYCH

Alicja KUKUŁKA, Marek WIRKUS

Streszczenie: Wraz z rozwojem systemów produkcyjnych oraz wzrostem złożoności procesów produkcyjnych powstaje konieczność rozwoju metod wspomaganie podejmowania decyzji dotyczących planowania oraz eksploatacji procesów i systemów produkcyjnych. Mnogość podejmowanych decyzji oraz ich zróżnicowana waga dla właściwego przebiegu produkcji wymaga podejmowania decyzji z uwzględnieniem wielu różnorodnych i zmiennych czynników. Stąd powstaje problem jakie, i w jakim stopniu czynniki należy uwzględniać, tj. powstaje problem jakie, i jak zastosować wielokryterialne metody wspomaganie. Przedmiotem opracowania jest krótki przegląd opisanych w literaturze metod wielokryterialnego wspomaganie decyzji oraz prezentacji modeli służących wyborowi metody. Nacisk położono na metody możliwe do zastosowania w ocenie przebiegu niepotokowych procesów produkcyjnych. W oparciu o wyniki przeglądu wybrano metodę, którą następnie zastosowano przy tworzeniu metody wielokryterialnej oceny niepotokowych procesów produkcyjnych.

Słowa kluczowe: wielokryterialne wspomaganie decyzji, analiza wielokryterialna, ocena procesów, produkcja niepotokowa

1. Wstęp

W ostatnich latach nastąpił rozwój metod wielokryterialnego wspomaganie decyzji [1]. Liczni autorzy podkreślają możliwość stosowania tego podejścia w różnych dziedzinach aktywności. Wielu autorów podkreśla przydatność tej metody przy podejmowaniu decyzji związanych z projektowaniem infrastruktury, szczególnie wybory przebiegu dróg [2, 3, 4]. Dodatkowo można znaleźć liczne przypadki stosowania metody do oceny projektów [5] czy też podczas wyboru technologii [6].

W Polsce nad zebraniem i usystematyzowaniem wiedzy dotyczącej metod wielokryterialnych a także dalszym rozwojem metodyki oraz rozwojem aplikacji pracował zespół badaczy pod kierownictwem T. Trzaskalika (projekt NN 111235036). Zespół ten prowadził badania w latach 2009-2012, skupiając pracowników i doktorantów z Uniwersytetu Ekonomicznego w Katowicach, Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach oraz Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu [1].

W niniejszym artykule autorzy opisują wybrane metody analizy wielokryterialnej w celu wykorzystania tej metody do opracowania własnej metodyki oceny niepotokowych procesów produkcyjnych, co następnie pozwoli na opracowanie działań usprawniających poszczególne aspekty realizacji procesów.

2. Założenia analizy wielokryterialnej

Analiza wielokryterialna stosowana jest przy wspomaganiu procesu decyzyjnego w sytuacjach, gdy dokonywany wybór następuje między wieloma wariantami. Istotny jest tu odpowiedni dobór kryteriów oceny jak oraz właściwe przypisanie wag. Oznacza to, iż w zależności od zagadnienia kryteria powinny odzwierciedlać różne aspekty takie jak koszty, czas, wymagania otoczenia bliższego i dalszego, możliwości realizacyjne i inne. Celem stosowania analizy jest wybór wariantu optymalnego z punktu widzenia przyjętych kryteriów [2].

Podczas wykonania analizy wielokryterialnej przyjmuje się pewien zbiór określonych wariantów rozwiązań $W=\{W_i: i=1,2,3 \dots,n\}$ oraz zbiór kryteriów $K=\{K_j: j=1,2,3 \dots,m\}$, zgodnie z którymi nastąpi ocena poszczególnych wariantów. Kolejnym krokiem jest przypisanie dla każdego kryterium wartość X_{ij} (wartość ta stanowi miarę wariantu W_i według kryterium K_j). Wszystkie przypisane wartości umieszcza się w macierzy danych $X_{ij}=\{x_{ij}: i=1,2,3 \dots,n; j=1,2,3 \dots,m\}$, w której i -ty wiersz przedstawia wartości wariantu i według kolejnych (wszystkich) kryteriów, a j -ta kolumna - wartości kolejnych (wszystkich) wariantów według określonego kryterium j [7].

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & \dots & x_{1j} & \dots & x_{1m} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \dots & \vdots \\ x_{i1} & \dots & x_{ij} & \dots & x_{im} \\ \vdots & \dots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n1} & \dots & x_{nj} & \dots & x_{nm} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Dodatkowo każdemu z kryteriów należy przypisać wagę. Wybierając kryteria oceny można posłużyć się zarówno parametrami mierzalnymi (np. czas realizacji zamówienia) oraz niemierzalnymi, które opisywać będą warianty bez ich oceny ilościowej. Dodatkowo posługując się analizą wielokryterialną można wykorzystać zarówno kryteria ilościowe jak i jakościowe. Przy czym wybierając kryteria jakościowe należy dokonać ich kwantyfikacji w celu przeprowadzenia porównania. W literaturze [2, 4, 7] opisanych zostało wiele sposobów normalizacji kryteriów. Posłużyć się można normalizacją Peldschusa, normalizacją Van Delfta i Nijkampa czy normalizacją Weitendorfa [4, 7, 8].

3. Wybrane wielokryterialne metody wspomaganie decyzji

W literaturze [1] [9] [10] spotkać można opis licznych wielokryterialnych metod wspomaganie decyzji. Wyróżnić można [9]:

- metody addytywne,
- metoda analitycznej hierarchizacji i metody pokrewne,
- metoda MACBETH i metody werbalne,
- metody ELECTRE,
- interaktywne metody rozwiązywania dyskretnych problemów podejmowania decyzji w warunkach ryzyka,
- wykorzystanie punktów referencyjnych,
- metody PROMETHEE.

W skład każdej z wyżej wymienionych grup metod wchodzi metody szczegółowe.

3.1. Metody addytywne

SAW (ang. Simple Additive Weighting Method) – obecnie ta metoda jest najbardziej rozpowszechnioną oraz najczęściej stosowaną dyskretną metodę wielokryterialną. Wśród zalet tej metody należy wymienić prostotę oraz intuicyjność, gdyż w modelowaniu preferencji decydenta należy posłużyć się funkcją liniową. Metoda polega na przygotowaniu macierzy znormalizowanych ocen, a następnie wyborze wariantu decyzyjnego, dla którego uzyskano najwyższą sumę ocen [1] [11] [12].

F-SAW (ang. Fuzzy Simple Additive Weighing Method) – w metodzie tej przy modelowaniu wag można posłużyć się trójkątnymi liczbami rozmytymi, zaś parametry tych liczb uzyskuje się poprzez dialog z ekspertem [13].

SMART (ang. Simple Multi-Attribute Ranking Technique) – w metodzie tej ostateczną ocenę interpretuje się jako globalną użyteczność danego wariantu. Natomiast oceny wariantów decyzyjnych ustala się ze względu na poszczególne kryteria (skala od 0 do 100) przy wykorzystaniu unitaryzacji, oceny bezpośredniej lub też funkcji wartości. Z kolei wagi poszczególnych kryteriów oblicza się poprzez porównanie zmian z najmniej pożądanego na najbardziej korzystny stan pod względem wybranego z kryteriów z podobną zmianą w odniesieniu do innego kryterium [14].

SMARTER (ang. Simple Multi-Attribute Ranking Technique Exploiting Ranks) – w metodzie tej etapy postępowania są identyczne jak w metodzie SMART. Zmodyfikowano natomiast sposób oceny wariantów wykorzystując funkcję liniową oraz sposób ustalania wag stosując metodę sumy rang [15].

3.2. Metoda analitycznej hierarchizacji i metody pokrewne

AHP (ang. Analytical Hierarchy Process) – w metodzie tej dokonuje się porównania ze sobą parami niezależnych kryteriów oraz wariantów decyzyjnych ze względu na kolejne kryteria. Przy porównywaniu wykorzystuje się 9-stopniową skalę ocen (skala Saaty'ego). Następnie zaś tworzy się wektor skali, którego składowe umożliwiają uporządkowanie wariantów decyzyjnych. Cel ogólny podejmowanej decyzji znajduje się na najwyższym poziomie hierarchii w przygotowanej strukturze. Następnie jest on dekomponowany na kolejne poziomy na których to znajdują się niezależne kryteria oceny. W związku z wielopoziomą strukturą wyróżnić można dodatkowo podkryteria, które mogą ulegać dalszemu podziałom. Najniższy poziom hierarchii stanowią warianty decyzyjne [16].

REMBRANDT (ang. Ratio Estimation in Magnitudes or DeciBels to Rate Alternatives which are Non-Dominated) – metoda ta stanowi odpowiedź na ograniczenia stosowania metody AHP dotyczące stosowanej skali ocen, sposobu wyliczania wartości oceny wariantu oraz sytuacji wprowadzenia do rankingu nowego wariantu. W metodzie tej przy porównywaniu kryteriów wykorzystuje się skalę logarytmiczną. Natomiast podczas wyznaczania wektorów skali stosuje się metodę logarytmicznych najmniejszych kwadratów. Utworzona zostaje trzy poziomowa struktura hierarchiczna, w której na pierwszym poziomie znajduje się cel nadrzędny, następnie kryteria oceny, a na najniższym poziomie umieszcza się rozpatrywane warianty. Oceny wariantów dokonuje się poprzez wykorzystanie reguły opartej na średniej geometrycznej [17].

ANP (ang. Analytic Network Process) – w metodzie tej, będącej rozwinięciem metody AHP, zniesione zostało założenie o niezależności kryteriów, dzięki czemu uwzględnia się powiązania pomiędzy poszczególnymi kryteriami oraz wariantami decyzyjnymi. Grupując

ze sobą pewne elementy tworzy się tak zwane komponenty. Dodatkowo zależności między nimi przedstawia się za pomocą sieci [18].

MACBETH (ang. Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique) w metodzie tej określa się relatywną atrakcyjność porównywanych elementów za pomocą oceny porządkowej. Następnie zaś, w przypadku elementów równie atrakcyjnych, korzysta się z jakościowej oceny uwzględniającej różnice w atrakcyjności pomiędzy elementami. Korzysta się tu z sześciu semantycznych kategorii (różnica „bardzo mała”, „mała”, „umiarkowana”, „duża”, „bardzo duża”, „ekstremalna”). Uzyskane odpowiedzi pozwalają na ustalenie skali przedziałowej. Następnie każdemu z przeprowadzonych porównań opracowuje się i rozwiązuje odpowiednie zadanie programowania liniowego oraz ustala się ocenę końcową [1].

3.3. Metody werbalne

Metody werbalne VDA (ang. Verbal Decision Analysis) – metodę tą stosuje się podczas analizy problemów nieustrukturyzowanych, opierających się głównie na parametrach jakościowych, dla których nie można opracować obiektywnego modelu agregacji.

ZAPROS – w metodzie tej wykorzystane są werbalne skale porządkowe. Dla konkretnego problemu decyzyjnego, wykorzystując preferencje decydenta konstruuje się wspólną skalę porządkową oraz opracowuje się częściowy porządek w zbiorze wariantów.

ZAPROS III – metoda stanowi modyfikację metody ZAPROS, powstałą poprzez wprowadzenie pojęcia wariacji jakościowej, która powstaje w wyniku zmiany jednej oceny w ramach skali dotyczącej jednego z kryteriów rozpatrywanych w problemie decyzyjnym. Podczas oceny wariantów decyzyjnych dokonuje się porównania wariacji jakościowych, opracowanych dla wszystkich par kryteriów oraz przygotowując wspólne skale dla wariacji jakościowych dla wszystkich możliwych par kryteriów, opracowuje się również wspólną skalę wariacji jakościowych [15].

3.4. Metody ELECTRE

W metodach tych proponuje się rozszerzenie zbioru podstawowych sytuacji tak, aby uwzględniały sytuacje równoważności, preferencji słabej, preferencji silnej oraz nieporównywalności.

ELECTRE I – w metodzie tej kryteria podlegają ocenie w tej samej skali ocen. Dodatkowo dla każdej pary wariantów oblicza się współczynnik zgodności, zbiór zgodności, poziom niezgodności, zbiór niezgodności oraz relację przewyższania.

ELECTRE IV – metodę tą rozszerzono o możliwość wystąpienia innego progu weta dla różnych kryteriów.

ELECTRE III – w metodzie tej dla każdej pary wariantów wyznacza się współczynnik zgodności oraz współczynnik wiarygodności. Dodatkowo wykorzystuje ona procedurę destylacji zstępującej, wyznaczając pierwszy z wykorzystywanych dalej porządków (rozpoczynając od wariantów najlepszych do najgorszych) oraz destylacji wstępującej (rozpoczynając od wariantów najgorszych do najlepszych). Na tej podstawie opracowuje się ranking końcowy.

3.5. Metody PROMETHEE

Metody PROMETHEE (ang. Preference Ranking Organisation Method for

EnrichmentEvaluations) metody z tej grupy uwzględniają różnicę pomiędzy ocenami wariantów dla wszystkich kryteriów. Większa różnica między ocenami oznacza że ze względu na dane kryterium decydent silniej preferuje jeden z wariantów. Natomiast niewielka różnica wskazuje na słabszą preferencję jednego z wariantów lub też uznanie ich za równoważne. Dla każdego kryterium opracowana zostaje funkcja preferencji, która umożliwia pomiar siły preferencji (uzyskująca wartości z przedziału [0,1]).

PROMETHEE I – w metodzie tej dla każdej pary zostaje obliczony zagregowany indeks preferencji oraz dodatki, wyrażający stopień w jakim dany wariant przewyższa wszystkie pozostałe i ujemny przepływ przewyższania, oznaczające stopień w jakim wariant jest przewyższany przez wszystkie inne. Uzyskane wartości przepływów służą do opracowania częściowego rankingu wariantów decyzyjnych.

PROMETHEE II – metoda ta stanowi rozwinięcie metody PROMETHEE I, przy czym całkowite uporządkowanie wariantów uzyskuje się poprzez zastosowanie wartości przepływów preferencji netto.

PROMETHEE II + weto – metoda ta powstała poprzez połączenie podejść wykorzystywanych w grupie metod ELECTRE i PROMETHEE. W metodzie tej oblicza się zarówno współczynniki zgodności, wskaźniki niezgodności względem każdego z kryteriów i współczynnik wiarygodności oraz dla wszystkich wariantów decyzyjnych dodatnie i ujemne przepływy przewyższania oraz przepływ przewyższania netto. Dopiero na tej podstawie opracowuje się całkowite uporządkowanie wariantów [19].

EXPROM (ang. EXtension of the PROMetheemethod) – metoda stanowi modyfikację metod PROMETHEE, uwzględnia jednak wariant idealny i antyidealny. Metoda wymaga obliczenia dla każdej pary wariantów zagregowanego słabego indeksu preferencji oraz zagregowanego ścisłego indeksu preferencji. Ścisły indeks preferencji wykorzystywany jest w celu zróżnicowanie stanów silnej preferencji występujących w przypadku więcej niż jednej pary wariantów. Następnym etapem jest wyliczenie dla każdej pary wariantów całkowitego indeksu preferencji, natomiast dla każdego wariantu – dodatni i ujemny przepływ przewyższania. Na podstawie wymienionych danych opracowuje się uporządkowanie częściowe lub całkowite (po uprzednim obliczeniu przepływu netto) [20].

3.6. Wykorzystanie punktów referencyjnych

TOPSIS (ang. Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) – w metodzie tej stosuje się porównanie wariantów decyzyjnych z abstrakcyjnymi ważonymi rozwiązaniami referencyjnymi (idealny i antyidealny). Tworzenie uporządkowanej listy wariantów wymaga obliczenia dla każdego z wariantów jego odległości od rozwiązań referencyjnych oraz znalezieniu wartości miernika syntetycznego, który umożliwi opracowanie uporządkowania końcowego [21].

VIKOR (serb. VIsokrterijumskaOptimizacija i KompromisnoResenje) – w metodzie tej również występują punkty odniesienia (wariant idealny i antyidealny). Dla każdego wariantu decyzyjnego wylicza się średnią ważoną odległość od punktu idealnego i maksymalną ważoną odległość od punktu idealnego oraz wartość kompleksowego wskaźnika. Na podstawie wyliczonych wartości wyznacza się trzy uporządkowania, następnie zaś porównuje się je ze sobą za pomocą testowania warunków akceptowalnej przewagi i akceptowalnej stabilności decyzji [22] [23].

DEMATEL + ANP + VIKOR – metoda ta umożliwia rozpatrywanie problemów decyzyjnych, w których występuje zależność między kryteriami i wariantami. Stanowi ona połączenie trzech metod, są to metody:

- DEMATEL (ang. DEcisionMaking Trial and Evaluation Laboratory) – która pozwala wyjaśnić zależności między elementami modelu oraz określenie macierzy relacji bezpośrednich i pośrednich bez konieczności wykonywania uciążliwych porównań parami
- ANP – wykorzystywana przy tworzeniu granicznej supermacierzy
- VIKOR – służąca do przygotowania końcowego uporządkowania [13].

BIPOLAR – w metodzie stosuje się podany przez decydenta dwubiegunowy układ referencyjny (zawierający obiekty „dobre” i „złe”) w celu porównania wariantów. Porównania wykonywane są w podobny sposób jak podczas stosowania metod ELECTRE. Wyznaczamy w ten sposób wskaźniki przewyższania i określamy strukturę preferencji. Pozwala to na określenie pozycji każdego wariantu względem całego układu referencyjnego, a następnie na wnioskowanie o relacjach w zbiorze wariantów decyzyjnych [15].

3.7. Metody interaktywne

W metodach tych przyjmuje się, iż decydent posiada lub potrafi dostarczyć informacje, które umożliwią ocenę pojedynczego wariantu lub niewielkiego podzbioru wariantów. Postępowanie w metodach interaktywnych jest podzielone na kolejne iteracje, z czego każda składa się z dwóch faz (faza obliczeniowa i faza dialogu z decydentem). Podczas dialogu decydent, poprzez sformułowanie opinii na temat wartości parametrów rozkładów prawdopodobieństwa opisujących konsekwencje wynikające z wyboru proponowanych wariantów decyzyjnych wyraża swoje preferencje. Proces jest realizowany do uzyskania wariantu, który zostanie uznany przez decydenta za optymalny.

STEM-DPR (ang. STEp Method for DiscreteDecisionMakingProblemsunderRisk) – w metodzie tej podczas kolejnych iteracji decydentowi przedstawiane są pojedyncze rozwiązania, które wyznaczane są przy wykorzystaniu minimaksowej zasady pomiaru odległości od rozwiązania idealnego. Podczas dialogu decydent ocenia proponowany wariant oraz wskazuje, które kryterium osiągnęło wartość satysfakcjonującą oraz w jakim stopniu ocena wariantu ze względu na to kryterium może być osłabiona [24].

INSDECM (ang. INteractiveStochasticDECisionMakingProcedure) – w metodzie tej podczas kolejnych iteracji decydentowi prezentuje się macierz osiągnięć, składającą się z najlepszych oraz najgorszych ocen wariantów dokonanych ze względu na poszczególne kryteria. W sytuacji gdy decydent uzna ocenę pesymistyczną za niesatysfakcjonującą, prosi się go o podanie warunku który musiałby zostać spełniony, aby rozwiązanie mogło zostać uznane za akceptowalne [25].

4. Wybór metody wielokryterialnej

Mnogość metod wielokryterialnego wspomaganie decyzji powoduje trudność w wyborze metody odpowiedniej dla rozważanego problemu decyzyjnego. Oznacza to, iż sam wybór metody wielokryterialnej stanowić może problem wymagający wielokryterialnego rozwiązania. Podczas wyboru odpowiedniej metody posłużyć się można gotowym modelem postępowania, przykładowo modelem Gershona lub modelem Tecle'a

4.1. Model Gershona

Model ten zawiera 27 kryteriów oceny służących doporównywaniawielokryterialnych

metod wspomaganie decyzji. Kryteria podzielone zostały na 4 grupy [26]. Grupy oraz kryteria umieszczono w tabeli 1.

Tab. 1 Kryteria modelu Gershona

obowiązkowe kryteria binarne	fakultatywne kryteria binarne	kryteria odnoszące się do własności metody wielokryterialnej	kryteria odnoszące się do implementacji metody
F1 kryteria jakościowe F2 zbiory dyskretne F3 zbiory ciągłe F4 problemy dynamiczne F5 problemy stochastyczne	F6 porównanie z punktem docelowym F7 porównanie z poziomem aspiracji F8 bezpośrednie porównania F9 sprawność rozwiązań F10 kompleksowy ranking F11 ranking na skali kardynalnej F12 zmienne całkowito liczbowe	F13 czas pracy komputera F14 czas na implementację metody F15 czas na interakcję F16 świadomość decydenta F17 zgodność/konsekwencja/ logika rozwiązań F18 odporność rozwiązań F19 grupowy decydent	F20 liczba celów/oczekiwań F21 liczba systemów F22 liczba ograniczeń F23 liczba zmiennych F24 poziom wiedzy decydenta F25 czas dostępny na interakcję F26 potrzeba interakcji F27 przekonanie dotyczące struktury preferencji

4.2. Model Tecl'e'a

Model składa się z 49 pogrupowanych w 4 grupy kryteriów, grupy oraz kryteria umieszczono w tabeli 2.

Tab. 2 Kryteria modelu Tecl'e'a

kryteria dotyczące problemu decyzyjnego	kryteria dotyczące decydenta lub analityka	kryteria dotyczące techniki wielokryterialnej	kryteria dotyczące rozwiązania
F1 skończona liczba wariantów F2 nieskończona liczba wariantów F3 kryteria jakościowe F4 problemy stochastyczne F5 problemy dynamiczne F6 rozmiar problemu F7 liczba	F14 indywidualne lub grupowe podejmowanie decyzji F15 czas przeznaczony przez decydenta na interakcję F16 zainteresowanie decydenta interakcją F17 założenia	F21 porównanie z punktem docelowym F22 porównanie z poziomem aspiracji F23 porównania bezpośrednie F24 zdolność do przewidywania najlepszego wariantu F25 zdolność do wyznaczania punktów efektywnych F26 stosowalność do rzeczywistych problemów F27 wiarygodność algorytmu F28 łatwość użycia	F41 typ rozwiązana (rangowe, numeryczne) F42 efektywność rozwiązania F43 liczba rozwiązań w każdej iteracji F44 zupełny ranking F45

celów/kryteriów F8 liczba wariantów F9 liczba i typ ograniczeń F10 liczba zmiennych F11 problemy całkowite liczbowe F12 problemy nieliniowe	dotyczące informacji o preferencjach F18 rzeczywisty stan wiedzy decydenta F19 wymagany stan wiedzy decydenta F20 potrzeba zaangażowania wykwalifikowanego analityka	F29 elastyczność osiągnięcia F30 sposób osiągnięcia rozwiązania F31 łatwość kodowania F32 ciężar obliczeniowy F33 wymagany czas interakcji F34 wymagany czas pracy komputera F35 szybkość osiągnięcia zbieżności F36 wymagane charakterystyki parametrów F37 wymagana ilość informacji F38 procedura ad hoc F39 technika interaktywna F40 konieczność wykorzystania specjalnego oprogramowania	kardynalny ranking F46 spójność rozwiązań F47 odporność rozwiązań F48 zaufanie do otrzymanego rozwiązania F49 użyteczność rozwiązania dla decydenta
---	---	---	---

Obie procedury obejmują wybór kryteriów adekwatnych do rozpatrywanego problemu decyzyjnego, przydzielenie wag kryteriom, ocenę rozpatrywanych metod ze względu na ustalony wcześniej zbiór kryteriów i wskazanie metody z wykorzystaniem programowania kompromisowego.

5. Zastosowania metod wielokryterialnych do opracowania metody oceny niepotokowych procesów produkcyjnych

Wraz z rozwojem systemów produkcyjnych oraz procesów wytwórczych pojawiła się potrzeba opracowania metody oceny niepotokowych procesów produkcyjnych, która pozwoli następnie na ich optymalizację. Złożone i kosztowne systemy produkcyjne można było kontrolować prostymi narzędziami, jednak otrzymywane wyniki często nie odzwierciedlały złożoności procesów. Dlatego też rozwijano nie tylko poszczególne mierniki, ale też samo spojrzenie na ocenę procesu. Badacze podjęli się zadania opracowania metody oceny niepotokowych procesów produkcyjnych. Jednak w tym celu konieczne było podjęcie licznych decyzji. Dotyczyły one:

- kryteriów oceny,
- stosowanych wskaźników,
- wag kryteriów i wskaźników,
- funkcji normalizujących,
- sposobu gromadzenia danych
- sposobu interpretacji danych,
- relacji między poszczególnymi kryteriami.

Opracowana metoda miała być oceną kompleksową, czyli odzwierciedlać różne aspekty związane z realizacją procesów produkcyjnych, uniwersalną, dzięki czemu można by ją stosować dla różnych procesów niepotokowych, dostosowaną do specyfiki produkcji niepotokowej oraz prostą i szybką w stosowaniu, dzięki czemu będzie można stosować uzyskane wyniki w celu podjęcia natychmiastowych działań usprawniających.

Przyjęto następujące kryteria oceny opracowanej metody:

- K1 – czas wdrożenia metody w systemie produkcyjnym,
- K2 – koszt wdrożenia metody w systemie produkcyjnym,
- K3 – trudność wdrożenia metody w systemie produkcyjnym,
- K4 – elastyczność metody,
- K5 – prostota w stosowaniu,
- K6 – kompleksowość metody,
- K7 – stopień dostosowania do specyfiki produkcji niepotokowej,
- K8 – stabilność metody,
- K9 – wiarygodność danych i wyniku,
- K10 – możliwość stosowania oprogramowania komputerowego.

Przegląd literatury pod kątem różnych metod wielokryterialnego wspomagania decyzji oraz możliwości ich zastosowania pokazał, iż często do podjęcia jednej decyzji można wybrać kilka różnych metod wspomagania decyzji. Uznano, iż podczas podejmowania decyzji odnośnie budowy metody oceny niepotokowych procesów produkcyjnych można posłużyć się metodami interaktywnymi, gdyż decydenci (projektanci metody oceny) posiadają wiedzę umożliwiającą im ocenę metody, a następnie jej modyfikację. Ponadto projektanci opracowali pierwszą wersję metody, a następnie podczas kolejnych iteracji udoskonalali ją w celu podniesienia jej oceny, poprawy ocen w poszczególnych kryteriach. Dodatkowo stwierdzono występowanie związków między poszczególnymi kryteriami oceny opracowanej metody, co sugeruje zastosowanie metod analitycznej hierarchii (ANP). Ponadto metoda ANP jest powszechnie stosowana przy wspomaganiu decyzji o charakterze wielokryterialnym, obarczonych niestandardowym rozkładem wyników procesu decyzyjnego wynikającego z subiektywizmu osób oceniających oraz sytuacji gdzie kryteria mają trudno kwantyfikowalny charakter jakościowy. Najważniejsza zaś jest możliwość stosowania metody w sytuacjach gdy decydenci posiadają różny poziom wiedzy i doświadczenia, a proponowana metoda wymaga udziału osób o takim profilu.

6. Metoda wielokryterialnej oceny niepotokowych procesów produkcyjnych

Pierwotnie badacze zamierzali skupić się na ocenie procesów niepotokowych jedynie poprzez pryzmat kryterium technologicznego, jednak okazało się iż taka ocena jest zbyt mało szczegółowa, a specyfika produkcji niepotokowej wymaga szerszego spojrzenia na realizowane procesy.

Następnie podjęto decyzję o ocenie procesu metodami wielokryterialnymi. Jednak opracowanie wielokryterialnego miernika oceny niepotokowego procesu produkcyjnego, który będzie można zastosować dla zróżnicowanych niepotokowych procesów produkcyjnych w różnych przedsiębiorstwach, jest zadaniem bardzo skomplikowanym. Wynika to z szeregu zagadnień o charakterze techniczno-organizacyjnym związanych z realizacją samego procesu niepotokowego.

Samo określenie czego dotyczyć będzie ocena procesu może spowodować pewne trudności. Podjęcie decyzji pod jakim kątem wykonana zostanie ocena procesu stanowi pierwszą trudność w opracowaniu wielokryterialnego miernika. Wiąże się to między innymi z faktem, że w ocenie procesu coraz istotniejsze są czynniki rynkowe, klient chce decydować o wyglądzie i funkcji wyrobu, a także o terminie i sposobie jego doręczenia oraz o formie zgłaszania i rozpatrywania ewentualnych reklamacji. Dodatkowo we współczesnym świecie gospodarczym ważnym zagadnieniem jest zabezpieczenie pracownikom odpowiednich warunków pracy [27].

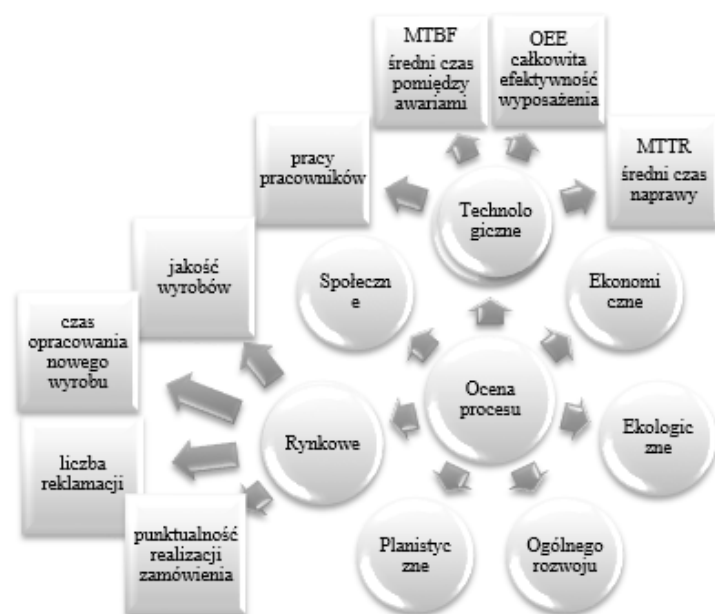
W wyniku analiz literaturowych oraz badań empirycznych w wybranych

przedsiębiorstwach przyjęto podział na pięć kryteriów oceny procesu, są to kryteria:

- Ekonomiczne, wiążące się z oceną poziomu kosztów produkcji związanych z analizowanym procesem oraz niezbędnych do jego realizacji kapitałowych nakładów inwestycyjnych.
- Ekologiczne, wiążące się ze sposobami ochrony środowiska naturalnego, utylizacji i segregacji odpadów, a także zużycia różnego rodzaju mediów - kryterium to wiąże się z pojęciem społecznej odpowiedzialności przedsiębiorstw.
- Społeczne, polegająca na zmierzeniu warunków pracy, ergonomii na stanowisku pracy, określeniu kwalifikacji wymaganych od pracowników oraz ich zadowolenia i satysfakcji z wykonywanej pracy, na przykład poprzez określenie absencji, czy też przeprowadzenie ankiet.
- Rynkowe, związane z dostosowaniem produktu oraz usług dodatkowych do indywidualnych potrzeb klienta, dodatkowo z możliwością elastycznego doboru produktu, cen oraz terminów realizacji, można tu mówić o ocenie procesu przez pryzmat efektu widzianego oczami klienta.
- Technologiczne, dotyczące realizacji przebiegu procesów technologicznych, wiąże się z oceną pracy maszyn oraz pracowników produkcyjnych [28].

Dalsze badania nad metodą, oznaczające poddanie ocenie pod kątem kryteriów wymienionych w rozdziale nr 5, pokazały, iż nie uwzględnia ona jeszcze dwóch ważnych aspektów, chodzi mianowicie o realizację harmonogramów (co w przypadku produkcji niepotokowej ma ogromne znaczenie) oraz kryterium związanego z ogólnym rozwojem przedsiębiorstwa.

Rys. 1. obrazuje budowę wielokryterialnego miernika oceny procesu, składającego się z siedmiu kryteriów, pokazując główne kryteria oceny, w ramach których wybrano następnie mierniki szczegółowe.



Rys. 1. Kryteria i wskaźniki w metodzie wielokryterialnej oceny niepotokowych procesów produkcyjnych

7. Podsumowanie

Analiza literatury oraz badania empiryczne realizowane w przedsiębiorstwach produkcyjnych pozwoliły badaczom na wstępne opracowanie metody wielokryterialnej oceny niepotokowych procesów produkcyjnych. Następnie autorzy dzięki przeglądowi metod wielokryterialnego wspomaganie decyzji wskazali, które metody mogłyby zostać zastosowane w celu podjęcia decyzji o ostatecznej formie metody oceny niepotokowych procesów produkcyjnych. Uwzględniając wiedzę badacza oraz możliwość podjęcia działań w sposób iteracyjny, wskazano na metody interaktywne. Poprzez założenie o zależności kryteriów oceny wskazano metody analitycznej hierarchii (ANP). Dodatkowo badacze wyróżnili dziesięć kryteriów oceny opracowanej metody. Obecnie opracowana metoda oceny przebiegu niepotokowych procesów produkcyjnych składa się z siedmiu aspektów oceny. Dalsze badania poświęcone zostaną rozwojowi oraz uszczegółowieniu metody.

Literatura

1. Trzaskalik T., Wielokryterialne wspomaganie decyzji metody i zastosowanie, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, 2014
2. Żabicki P., Gardziejczyk W.: Wybrane aspekty analizy wielokryterialnej w projektowaniu obejść drogowych, *Budownictwo i Architektura*, 13, 1, 2014, 213-222.
3. Kraszewski A., Suchorzewski W., Badyda A., Analiza wielokryterialna i ocena ekspercka wariantów lokalizacji Wschodniej Obwodnicy Warszawy, raport końcowy, Politechnika Warszawska Wydział Inżynierii Środowiska, Warszawa, 2007.
4. Brauers W.K. M., Zavadskas E.K., Peldschus F., Turskis Z.: Multi - objective decision – making for road design. *Transport*, 23, 3, 2008, 183-193.
5. Grzeszczyk T. A.: Analiza wielokryterialna w ocenie projektów europejskich. Konferencja KZZ, Zakopane, 2010, 540-547.
6. Mucha Z., Mikosz J., Generowicz A.: Zastosowanie analizy wielokryterialnej do wyboru technologii w małych oczyszczalniach ścieków. *Czasopismo techniczne, Środowisko*, 4, 2012, 145-155.
7. Geneletti D.: Multicriteria analysis to compare the impact of alternative road corridors: a case study in northern Italy. *Impact Assessment and Project Appraisal*, 23, 2, 2005, 135-146.
8. Szwabowski J., Deszcz J. Metody wielokryterialnej analizy porównawczej, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 2001.
9. Trzaskalik T.: Wielokryterialne wspomaganie decyzji metody i zastosowanie, *Zeszyty Naukowe. Organizacja i Zarządzanie / Politechnika Śląska*, 74, 2014, 239-263.
10. Zawadzka L., Modele optymalizacji wielokryterialnej. Przykłady aplikacji, [w:] L. Zawadzka, *Inżynieria systemów zarządzania*, Wyd. Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2002.
11. Churchman C.W., Ackoff R.L.: An approximate measure of value. *Journal of Operations Research Society of America*, 2, 1, 1954, 172-187.
12. Afshari A., Mojahed M., Yusuff R.: Simple Additive Weighting approach to Personnel Selection problem. *International Journal of Innovation, Management and Technology*, 1, 5, 2010, 511-515.
13. Tzeng G.H., Huang J.J.: *Multiple Attribute Decision Making. Methods and Applications*. CRC Press, London, 2011.
14. Edwards W.: Social utilities, *Engineering Economist*, Summer Symposium, Series 6, 1971, 119-129.
15. Konarzewska-Gubała E.: Bipolar: Multiple Criteria Decision Aid Using Bipolar

- Refernce System, LAMSADE, "Cashier et Documents", 56, 2009.
16. Saaty T.L.: The analytic hierarchy process. McGraw-Hill, New York 1980.
 17. Lootsma F.A.: The REMBRANDT system for multi-criteria decision analysis via pairwise comparisons or direct rating, Report 92-05, Faculty of Technical Mathematics and Informatics, Delft University of Technology, Delft 1992.
 18. Saaty T.L.: Decision making with dependence and feedback. The analytic network process. RWS Publications, 4922 Ellsworth Ave., Pittsburgh, 1996.
 19. Górecka D., Muszyńska J.: Analiza przestrzenna innowacyjności polskich regionów. *ActaUniversitatisLodziensis Folia Oeconomica*, 253, 2011, 55-70.
 20. Diakoulaki D., Koumoutsos N.: Cardinal ranking of alternative actions: extension of the PROMETHEE method. „*European Journal of Operational Research*”, 53, 1991, 337-347.
 21. Hwang C.L., Yoon K.: Multiple Attribute Decision Making Methods and Applications: A State of the Art Survey, Springer-Verlag, New York, 1981.
 22. Opricovic S.: Multicriteria optimization of civil engineering systems. Technical report, Faculty of Civil Engineering, Belgrade, 1998.
 23. Opricovic S. Tzeng G.H.: Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS. *European Journal of Operational Research*, 156, 2, 2004, 445-455.
 24. Nowak M.: Interaktywne wielokryterialne wspomaganie decyzji w warunkach ryzyka. *Metody i zastosowania*. Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej w Katowicach, Katowice, 2008.
 25. Nowak M.: INSDECM – Aninteractiveprocedure for stochasti cmulticriteria decision problems. *European Journal of Operational Research*, 175, 2006, 1413-1430.
 26. Gershon M.: Model choice in multi-objective decision-making in natural resource systems. Ph.D. Dissertation, University of Arizona, 1981.
 27. Kukulka A.: Siedmiokryterialny miernik oceny niepotokowych procesów produkcyjnych. IV naukowe warsztaty dla doktorantów w dyscyplinie inżynierii produkcji, Akademia Techniczno Humanistyczna w Bielsku Białek, 2016, 115-122.
 28. Kukulka A., Wirkus M.: Zagadnienie opracowania i stosowania wielokryterialnego miernika oceny przebiegu procesu niepotokowego, w: R. Knosala (red.), *Innowacje w Zarządzaniu i Inżynierii Produkcji*, Oficyna Wydawnicza Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją, Opole 2016, 621-631.

Dr hab. inż. Marek WIRKUS, prof. PG
Mgr inż. Alicja KUKUŁKA
Katedra Inżynierii Zarządzania Operacyjnego,
Wydział Zarządzania i Ekonomii
Politechnika Gdańska
80-233 Gdańsk, ul. Gabriela Narutowicza 11/12
e-mail: marek.wirkus@zie.pg.gda.pl
kukulka.alicja@gmail.com