

dr Lilianna Ważna

Wydział Ekonomii i Zarządzania, Zakład Controllingu i Informatyki Ekonomicznej,
Uniwersytet Zielonogórski

dr inż. Irena Bach

Wydział Elektroniki i Informatyki, Katedra Podstaw Informatyki i Zarządzania,
Politechnika Koszalińska

prof. dr hab. inż. Zbigniew Banaszak

Wydział Zarządzania, Zakład Informatyki Gospodarczej, Politechnika Warszawska

KOMPUTEROWE WSPOMAGANIE WIELOKRYTERIALNEJ OCENY EFEKTYWNOŚCI WDROŻENIA SYSTEMU ERP

W pracy przedstawione zostało komputerowe narzędzie wspomagania wielokryterialnej oceny efektywności planowanego wdrożenia zintegrowanego systemu informatycznego ERP w średnim przedsiębiorstwie. Proponowane narzędzie wykorzystuje modelowanie i wnioskowanie rozmyte i umożliwia prognozowanie efektów planowanego przedsięwzięcia wdrożeniowego na bazie wcześniej zrealizowanych wdrożeń oraz ich ocenę względem preferowanych przez przedsiębiorstwo kryteriów celowych. Rozwiązanie uwzględnia ograniczenie wdrożeniowe, jakim jest aktualny stan przygotowania przedsiębiorstwa do wdrożenia oraz warunki niepewności z nieprecyzyjnym opisem danych.

COMPUTER SUPPORT OF MULTICRITERIA EVALUATION OF ERP SYSTEM IMPLEMENTATION EFFICIENCY

The paper presents the computer tool supporting the multicriteril evaluation of efficiency of the planned ERP (Enterprise Resource Planning) system implementation in a medium enterprise. The proposed tool uses fuzzy modeling and inference and enables the forecasting of effects of the planned implementation project on the basis of earlier implementation projects and the evaluation of the forecasted values with respect to preferred by the enterprise intentional criteria. The solution takes into account the implementation constraint that is the present state of enterprise preparation for implementation and uncertain terms with the unprecise description of data.

1. WPROWADZENIE

Przedsięwzięcie wdrożeniowe zintegrowanego systemu zarządzania klasy ERP (Enterprise Resource Planning – planowanie zasobów przedsiębiorstwa) jest bardzo złożonym procesem, na który składa się całokształt działań przygotowawczych, organizacyjnych oraz wykonawczych i stanowi największą inwestycję informatyczną w przedsiębiorstwie w przekroju kosztów, stopnia złożoności oraz czasu wdrożenia (por. [1], [2], [6], [8]) Powodzenie wdrożenia systemu ERP zależy zarówno od wyboru odpowiedniego rozwiązania informatycznego, jak również od dobrej organizacji przygotowań i przebiegu prac projektowo-wdrożeniowych. Do najczęstszych przyczyn przedsięwzięć nieudanych, w których nie osiągnięto zamierzonych celów biznesowych, przekroczono budżet, nie dotrzymano terminów realizacji, czy też wymogów jakościowych, zalicza się nieprzygotowanie użytkownika oraz oczekiwanie na zbyt wiele w bardzo krótkim czasie

(por. [4], [5]). W związku z tym poszukiwane są rozwiązania, które pozwolą pomniejszyć ryzyko występujących niepowodzeń (por. [7], [8]).

Celem prezentowanej pracy jest przedstawienie narzędzia wspomaganie wielokryterialnej oceny efektywności planowanego wdrożenia systemu ERP w średnim przedsiębiorstwie, względem jego wymagań. Wymagania te określone są za pomocą preferowanych przez przedsiębiorstwo wartości wskaźników, opisujących efekty danego wdrożenia, jakie chciałoby osiągnąć w zadanym terminie oraz bez przekroczenia ograniczonego budżetu.

Proponowane rozwiązanie wykorzystuje doświadczenia ze zrealizowanych wcześniej wdrożeń systemu, które przez uogólnienie tworzą bazę wiedzy do celów prognozowania. Ponadto uzależnia czas osiągnięcia prognozowanych efektów wdrożenia od ograniczenia wdrożeniowego, jakim jest aktualny stan przygotowania przedsiębiorstwa do realizacji planowanego przedsięwzięcia. Pozwala przy tym przez zastosowanie modelowania i wnioskowania rozmytego uwzględnić dane dotyczące niepewnej przyszłości w postaci parametrów określonych nieprecyzyjnie

2. KOMPUTEROWY SYSTEM WSPOMAGANIA WIELOKRYTERIALNEJ OCENY EFEKTYWNOŚCI WDROŻENIA ERP

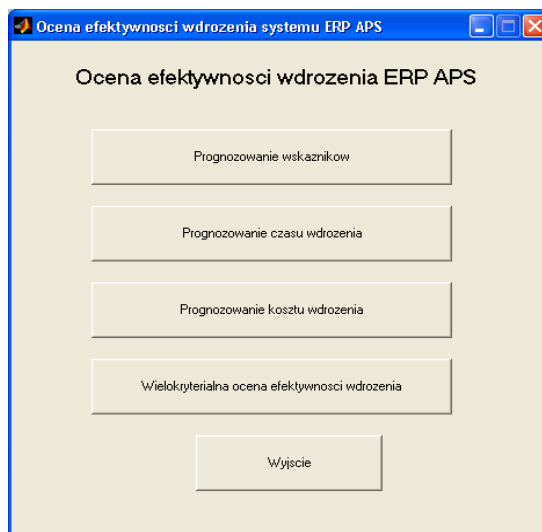
Komputerowy system wspomaganie wielokryterialnej oceny efektywności wdrożenia ERP stanowi implementację zaproponowanej metody wykorzystującej aparat modelowania i wnioskowania rozmytego oraz omawianej i prezentowanej między innymi w pracach ([11], [12], [13], [14]). Umożliwia ustalenie wartości wielokryterialnej oceny efektów planowanego wdrożenia ERP względem kryteriów celowych danego przedsiębiorstwa. Kryteria te określone są przez preferowane wartości wybranych wskaźników, opisujących efekty wdrożenia. System pozwala więc uzyskać odpowiedź na pytanie: Czy (i w jakim stopniu) stan przygotowania danego przedsiębiorstwa do wdrożenia i eksploatacji danego systemu ERP, pozwala osiągnąć zadane wartości wybranych wskaźników tego przedsiębiorstwa w zadanym terminie i budżecie, przy znanym czasie eksploatacji systemu?

System zbudowany jest z dwóch warstw. Pierwszą z nich stanowi część obliczeniowa, drugą natomiast jest interfejs graficzny, wspomagający użytkownika we wprowadzaniu danych, realizacji poszczególnych etapów proponowanej procedury postępowania oraz interpretacji graficznej otrzymanych wyników.

Działanie systemu sprowadza się do określenia:

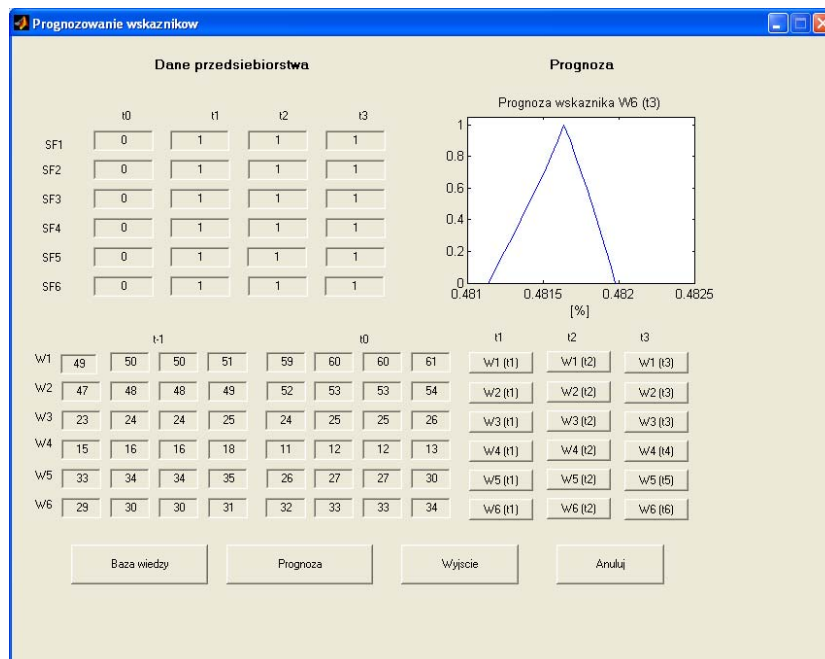
- prognozowanych wartości wybranych wskaźników przedsiębiorstwa z planowanego wdrożenia, przy użyciu bazy wiedzy, która tworzona jest na podstawie wcześniej zdobytych doświadczeń, za pomocą modułu *Prognozowanie wskaźników*
- czasu trwania planowanego przedsięwzięcia wdrożeniowego, z uwzględnieniem stanu przygotowania przedsiębiorstwa, przy pomocy modułu *Prognozowanie czasu wdrożenia*
- kosztów planowanego przedsięwzięcia, za pomocą modułu *Prognozowanie kosztu wdrożenia*
- wielokryterialnej oceny efektywności celowej planowanego przedsięwzięcia, względem subiektywnych kryteriów preferowanych przez przedsiębiorstwo (preferowany czas, koszt i wartości wskaźników), przy pomocy modułu *Wielokryterialna ocena efektywności wdrożenia*.

Główne okno programu przedstawione jest na rys. 1. W celu oszacowania efektywności należy kolejno uruchomić moduły: *Prognozowanie wskaźników*, *Prognozowanie czasu wdrożenia*, *Prognozowanie kosztu wdrożenia* oraz *Wielokryterialna ocena efektywności wdrożenia*.



Rys.1. Główne okno programu. Źródło: opracowanie własne.

Po wybraniu modułu *Prognozowanie wskaźników* zostaje wyświetlone okno Dane przedsiębiorstwa (rys. 2).



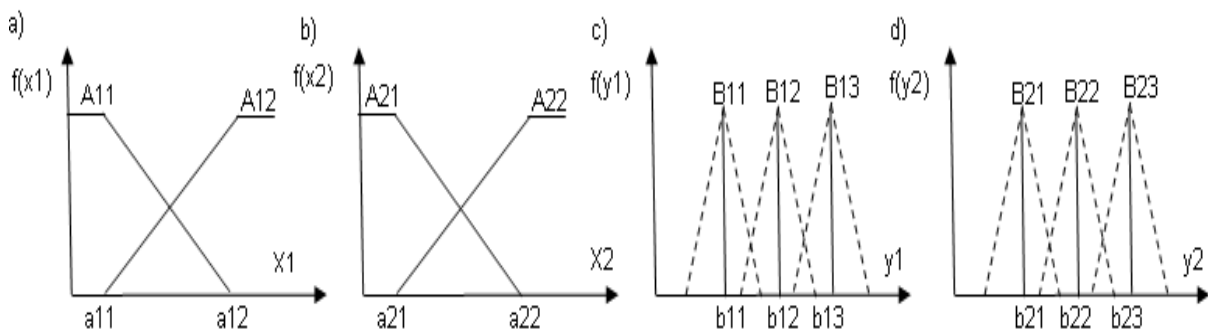
Rys. 2. Okno *Prognozowanie wskaźników*. Źródło: opracowanie własne.

Do określenia poszukiwanej prognozy wykorzystywane są dane z wcześniejszych wdrożeń danego systemu w przedsiębiorstwach tej samej klasy, które pozwalają utworzyć bazę wiedzy w postaci modelu rozmytego (rozmytej sieci neuronowej), określającego reguły pomiędzy danymi z okresów poprzednich t_{i-2} , t_{i-1} i okresu kolejnego t_i . Wybór przycisku *Baza wiedzy* umożliwia zaimportowanie pliku z przygotowanymi danymi oraz utworzenie i zapisanie otrzymanego modelu rozmytego (rys.3).



Rys.3.Okno *Tworzenie bazy wiedzy*. Źródło: opracowanie własne.

Proces tworzenia modelu rozmytego rozpoczyna się od filtracji danych zaszumionych metodą średniej ważonej oraz określenia istotnych i nieistotnych wejść modelowanego systemu metodą wykresów średniej rozmytej opracowaną przez Lin i Cunninghama (por. [9], [10]). Następnie ustalane są elementy struktury modelu rozmytego (baza reguł i ilość zbiorów rozmytych przyporządkowanych do poszczególnych wejść i wyjść modelu) geometryczną metodą punktów maksymalnego błędu bezwzględnego (PMBB). Wykorzystywane są przy tym funkcje przynależności pokazane na rys. 4. Ponieważ w trakcie tworzenia modelu nauczaniu podlegają fragmenty rozmytej sieci neuronowej, przez którą jest reprezentowany, konieczne jest zdefiniowanie parametrów nauczania: *Liczba epok* i *Liczba eksperymentów*.



Rys. 4. Źródło: opracowanie własne

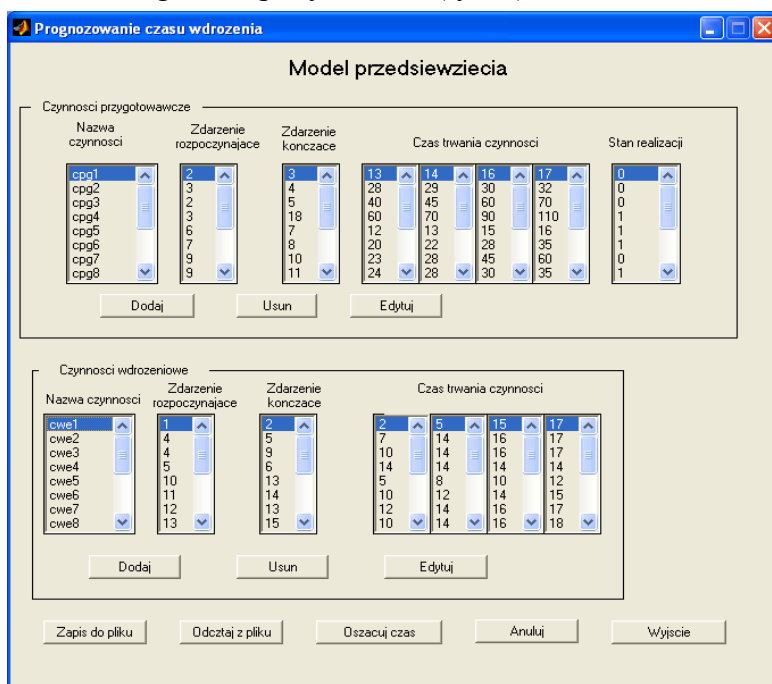
Po utworzeniu bazy wiedzy i wprowadzeniu w oknie *Prognozowanie wskaźników danych przedsiębiorstwa*, dotyczących wartości wskaźników przed wdrożeniem oraz aktualnego i planowanego stanu wdrożenia funkcjonalności systemu obliczane są prognozowane wartości tych wskaźników po wdrożeniu. Otrzymywane w ten sposób poszukiwane wartości wyjściowe szacowane są za pomocą wnioskowania rozmytego.

Przeprowadzenie wnioskowania rozmytego sprowadza się w pierwszym rzędzie do dokonania oceny stopnia spełnienia przesłanek poszczególnych reguł. Stopień koniunkcyjnej przesłanki złożonej zależy od stopnia przynależności zmiennych wejściowych do określonych zbiorów rozmytych. Im wyższy jest stopień przesłanki, tym wyższy jest udział danej reguły w określeniu wynikowego wniosku bazy reguł. W wyniku dokonywania inferencji w poszczególnych regułach bazy reguł uzyskuje się dla każdej reguły zmodyfikowane funkcje przynależności konkluzji, na podstawie których należy utworzyć jedną wynikową funkcję przynależności konkluzji całej bazy reguł. Inferencją MAX-MIN określa się operację, w której określanie zmodyfikowanych funkcji przynależności poszczególnych reguł odbywa się z użyciem operatora MIN, a akumulacja tych funkcji w wynikową funkcję przynależności

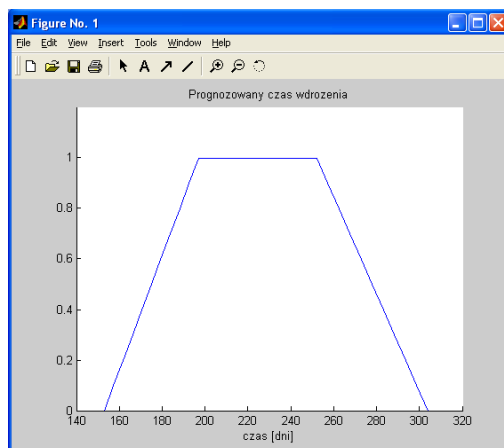
z użyciem operatora MAX. Najbardziej typowy reprezentant wynikowego zbioru rozmytego inferencji jest określany przez defuzyfikację metodą wysokości.

Uzyskane za pomocą wnioskowania rozmytego wyniki prognozowania dla kolejnych wskaźników W_n w kolejnych odstępach czasu t_i wyświetlane są w systemie w postaci graficznej po wyborze przycisku odpowiadającego wybranemu wskaźnikowi (rys. 2). Stanowią one odpowiedź na pytanie, jakie wartości wybranych wskaźników rozważanego przedsiębiorstwa pozwoli osiągnąć planowane przedsięwzięcie wdrożeniowe w zadanym czasie eksploatacji systemu?

Następnie po wyborze w głównym oknie programu modułu *Prognozowanie czasu wdrożenia* otwiera się okno przygotowane do wprowadzania danych związanych z modelem przedsięwzięcia wdrożeniowego danego systemu S (rys. 5).



Rys. 5. Okno modułu *Prognozowanie czasu wdrożenia*. Źródło: opracowanie własne.



Rys. 6. Okno przedstawiające rozmyty prognozowany czas wdrożenia.

Źródło: opracowanie własne.

Po wprowadzeniu wszystkich czynności, kolejności ich wykonywania, nieprecyzyjnie określonych czasów ich trwania oraz stanu ich realizacji następuje przez wybór przycisku Oszacuj czas ustalenie szacowanego czasu trwania planowanego projektu wdrożenia. Otrzymany wynik określa ile czasu potrzeba na realizację planowanego przedsięwzięcia przy uwzględnieniu aktualnego stanu przygotowania przedsiębiorstwa do wdrożenia i przedstawiany jest w postaci graficznej jak na rys. 6.

Powrót do głównego okna programu i wybór kolejnego modułu *Prognozowanie kosztu wdrożenia* powoduje otwarcie okna, w którym wprowadza się dane dotyczące kosztów planowanego wdrożenia, takie jak koszt licencji systemu (odpowiadający określonej liczbie użytkowników), rodzaje kosztów przedsięwzięcia z określoną nieprecyzyjnie wielkością kosztów stałych (jako % kosztów licencji), jednostkowych kosztów zmiennych (jako % kosztów stałych) i przyjętą wielkością odniesienia (rys. 7). Po wyborze przycisku Oszacuj koszty otrzymywana jest rozmyta prognozowana wartość całkowitego kosztu planowanego przedsięwzięcia wdrożeniowego przedstawiana w postaci graficznej jak na rys. 8.

The screenshot shows a software window titled "Prognozowanie kosztu wdrożenia" with a sub-header "Szacownie kosztów". It contains several input fields and tables for cost estimation.

Koszt licencji: 300

Rodzaje kosztów: A list of cost types including rk1-serwers, rk2-zara pro, rk3-zsk.plen, rk4-modyfik., rk5-pozost t., and rk6-utrzyma.

Koszty stałe: A table with 4 columns and 6 rows of values.

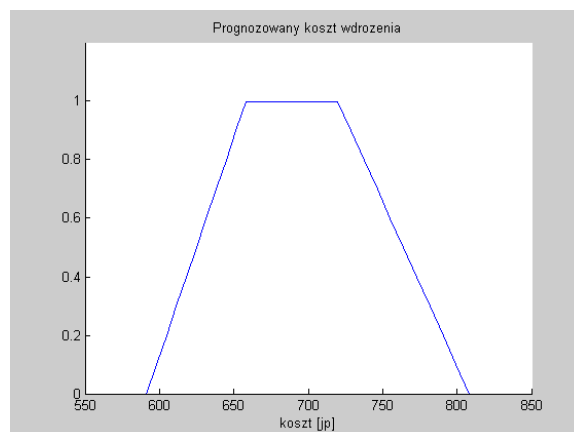
Koszty zmienne: A table with 4 columns and 6 rows of values.

Wielkosc odniesienia: A list of reference values including liczba serwe, osobodni, and osobodni.

Wartosc odniesienia: A table with 4 columns and 6 rows of values.

Buttons: Dodaj, Usun, Edytuj, Oszacuj koszty, Zapis do pliku, Odcztaj z pliku, Wyjscie, Anuluj.

Rys. 7. Okno modułu *Prognozowanie kosztu wdrożenia*. Źródło: opracowanie własne.

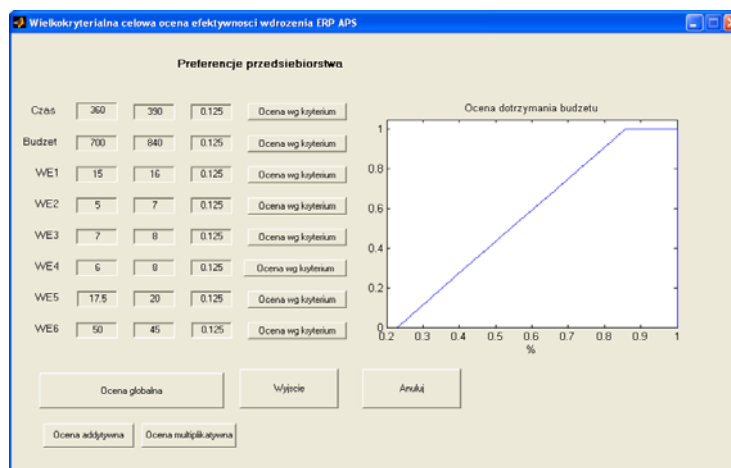


Rys. 8. Okno przedstawiające rozmyty prognozowany koszt wdrożenia.

Źródło: opracowanie własne.

W module *Wielokryterialna ocena efektywności wdrożenia* wszystkie, otrzymane w wyniku wykorzystania poprzednich modułów, prognozowane wartości zostają poddane ocenie względem wymaganych oczekiwań przedsiębiorstwa, stanowiących preferowane kryteria celowe dla planowanego przedsięwzięcia.

Rozpoczęcie pracy z modulem wymaga wprowadzenia danych dotyczących preferencji przedsiębiorstwa (rys. 9), do których należą wartości analizowanych wskaźników, jakie chciałoby osiągnąć przez realizację wdrożenia danego systemu, termin ich osiągnięcia, przyjęty budżet oraz wartość wagi dla każdego z kryteriów. Wybór przycisku *Ocena globalna* powoduje określenie ocen cząstkowych poszczególnych prognozowanych efektów według zadanych odpowiednio kryteriów celowych oraz ustalenie wartości globalnej oceny wielokryterialnej poprzez agregację uzyskanych ocen cząstkowych.



Rys. 9. Okno modułu Wielokryterialna ocena efektywności wdrożenia.

Źródło: opracowanie własne.

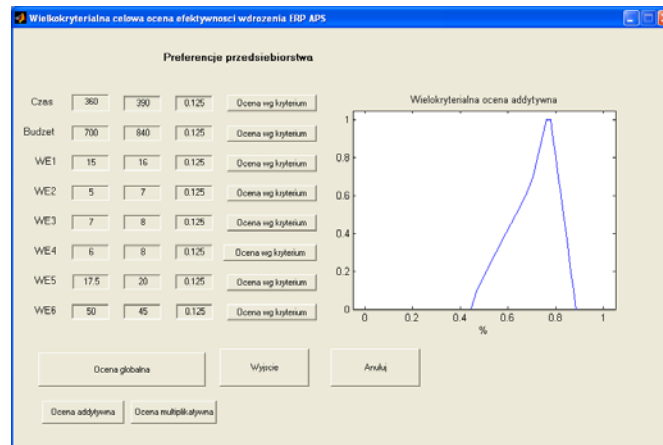
Wyniki dla każdego z kryteriów cząstkowych dostępne są w systemie w postaci graficznej przez wybór odpowiedniego przycisku *Ocena wg kryterium* (rys. 9) i informują:

- w jakim stopniu przygotowanie przedsiębiorstwa do wdrożenia pozwoli na start systemu w czasie, który z uwzględnieniem okresu eksploatacji zmieści się w zadanym przez przedsiębiorstwo terminie?
- w jakim stopniu koszty realizacji planowanego przedsięwzięcia mieszczą się w zadanym budżecie?
- w jakim stopniu planowane przedsięwzięcie pozwoli osiągnąć zadane wartości wybranych wskaźników rozważanego przedsiębiorstwa w przyjętym okresie eksploatacji systemu od jego startu?

Wartość globalnej oceny wielokryterialnej dla wszystkich kryteriów określana jest z wykorzystaniem dwóch kryteriów do agregacji ocen cząstkowych: addytywnego oraz multiplikatywnego (por. [3]). Uzyskane wyniki dostępne są w postaci graficznej po wyborze przycisków *Ocena addytywna* (rys. 10) oraz *Ocena multiplikatywna* (rys. 11). Wartości tej oceny są liczbami rozmytymi zawierającymi się w przedziale $[0,1]$.

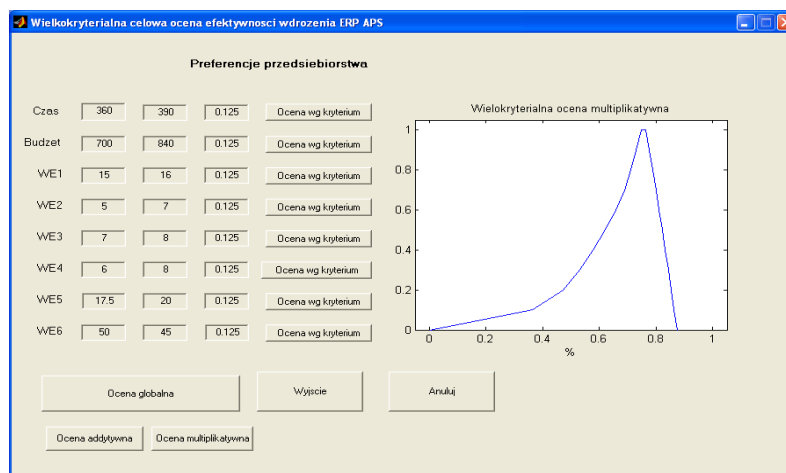
Z uwagi na uwzględnienie niepewności związanej z przyszłością planowanego przedsięwzięcia oraz faktu, że czasem choć nie wszystkie parametry mogą zostać osiągnięte, to jednak niektóre mogą, otrzymane wartości oceny globalnej nie dają jedynie jednoznacznej

odpowiedzi tak lub nie na pytanie: czy stan przygotowania danego przedsiębiorstwa do wdrożenia i eksploatacji danego systemu ERP, pozwala osiągnąć rozważanemu przedsiębiorstwu preferowane wartości analizowanych wskaźników w zadanym terminie i budżecie przy znanym czasie eksploatacji systemu? Wartości te określają, w jakim stopniu jest to możliwe, czyli dostarczają informacji, jaki jest prognozowany stopień osiągnięcia celu planowanego wdrożenia ERP, którym jest uzyskanie preferowanych wartości wybranych wskaźników przedsiębiorstwa z dotrzymaniem zadanego terminu i budżetu.



Rys. 10. Okno z przykładowym wynikiem wielokryterialnej oceny addytywnej.

Źródło: opracowanie własne.



Rys. 11. Okno z przykładowym wynikiem wielokryterialnej oceny multiplikatywnej.

Źródło: opracowanie własne.

Warto zauważyć, że wykorzystanie proponowanego rozwiązania stwarza możliwość oceny efektywności planowanego wdrożenia ERP, która zależy od stanu przygotowania przedsiębiorstwa i uwzględnia warunki niepewności, czego nie dają dotychczas stosowane metody. Umożliwia przy tym uzyskanie wyników określonych nieprecyzyjnie, które lepiej odpowiadają niepewnej rzeczywistości, ponieważ dostarczają informacji, że otrzymana wartość punktowa nie jest jedyną możliwą do uzyskania przy zrealizowaniu danego projektu.

3. OGRANICZENIA PROPONOWANEGO ROZWIĄZANIA I KIERUNEK DALSZYCH BADAŃ

Przeprowadzone badania i eksperymenty komputerowe pozwalają zauważyć, że wykorzystanie proponowanego rozwiązania wymaga przeprowadzenia szeregu testów przy ustalaniu poszukiwanego modelu rozmytego. W trakcie modelowania za pomocą rozmytej sieci neuronowej optymalizowana jest funkcja błędu, co wymusza testowania, dotyczącego takich kryteriów jak algorytm uczenia rozmytej sieci neuronowej (współczynnik uczenia, liczba iteracji) oraz podział zbioru danych na uczący i testowy. Parametry te mają wpływ na postać wyników końcowych, a ich wybór następuje w sposób eksperymentalny poprzez porównanie wielkości generowanych przez nie błędów. Otrzymywany model rozmyty jest każdorazowo tylko pewnym przybliżeniem modelowanej zależności.

Konieczność przeprowadzania tego typu testów jak również problemy z uzyskaniem powtarzalności wyników końcowych, które zależą również od przyjętych funkcji przynależności opisujących parametry nieprecyzyjnie określone, należą do ograniczeń proponowanej metody. Wymusza to raczej ostrożne podejście do otrzymywanych wyników prognozy, które stanowią każdorazowo pewne przybliżenie niepewnej rzeczywistości. Warto jednak zaznaczyć, że mimo tego dają szansę pozyskania orientacyjnych informacji dotyczących przyszłości.

Innym ograniczeniem proponowanej metody jest konieczność pozyskania potrzebnych danych wejściowych. Proces ten może być bardzo trudny, ponieważ przedsiębiorstwa z reguły bardzo niechętnie udostępniają swoje dane. Wydaje się on jednak być możliwy zwłaszcza w przypadku wdrożeń wybranego systemu u klientów pilotażowych, tworzących pewnego rodzaju grupę wymiany doświadczeń.

Można też przypuszczać, że w ogólnym przypadku widoczne w danym przedsiębiorstwie efekty nie muszą być tylko efektami wdrożenia danego systemu, ale także innych równoległe prowadzonych działań tego przedsiębiorstwa. Rozwiązanie nie uwzględnia tego typu sytuacji.

Proponowane podejście nie uwzględnia także przy określaniu czasu przedsięwzięcia wdrożeniowego możliwego wystąpienia ograniczeń zasobowych podczas jego realizacji. Pozwala jedynie poprzez nieprecyzyjne określanie czasu poszczególnych czynności zmniejszyć błąd szacunków w przypadku wystąpienia takiego wariantu. Tymczasem wystąpienie ograniczenia tego typu zarówno wśród pracowników zespołu wdrożeniowego danego Przedsiębiorstwa jak i firmy wdrożeniowej jest bardzo możliwe, ponieważ realizacja projektu wdrożeniowego danego systemu nie jest jedynym przedsięwzięciem, jakie w danym horyzoncie czasu realizuje każde z obu przedsiębiorstw.

Brakuje również w proponowanym rozwiązaniu możliwości uzyskania informacji, jakie wartości wskaźników przedsiębiorstwa przed wdrożeniem pozwoliłyby osiągnąć mu poprzez realizację wdrożenia ERP preferowanych celów projektu oraz jaki stan przygotowania do wdrożenia gwarantowałby realizację przedsięwzięcia w preferowanym terminie. Potrzeba pozyskania takiej informacji występuje zwłaszcza w przypadku, gdy przeprowadzona ocena planowanego przedsięwzięcia wdrożeniowego wskazuje, że stan przygotowania danego przedsiębiorstwa do wdrożenia i eksploatacji danego systemu ERP nie pozwala osiągnąć mu w zadanym terminie i budżecie preferowanych wartości analizowanych wskaźników.

W związku z powyższym jednym z kierunków dalszych badań jest opracowanie metody wykorzystującej tzw. wnioskowanie odwrotne do określania stanu przygotowania przedsiębiorstwa do wdrożenia oraz wartości wskaźników przedsiębiorstwa

przed wdrożeniem, gwarantujących osiągnięcie przyjętych celów planowanego przedsięwzięcia wdrożeniowego.

4. PODSUMOWANIE

Proponowany w pracy komputerowy system wspomagania wielokryterialnej oceny efektywności wdrożenia ERP w średnim przedsiębiorstwie umożliwia prognozowanie efektów planowanego przedsięwzięcia wdrożeniowego, przy ograniczeniu, jakim jest stan przygotowania przedsiębiorstwa, oraz ich ocenę względem preferowanych przez przedsiębiorstwo kryteriów celowych. Wykorzystuje przy tym aparat modelowania i wnioskowania rozmytego pozwalający uwzględnić nieprecyzyjny opis parametrów związany z niepewną przyszłością. Rozwiązanie dedykowane jest producentom i konsultantom oprogramowania ERP do wspomagania inwestycyjnych decyzji menedżerskich o wyborze i wdrożeniu danego systemu ERP. Stanowi istotne uzupełnienie istniejących narzędzi oceny efektywności przedsięwzięć wdrożeniowych.

5. LITERATURA

- [1] Adamczewski P., *Zintegrowane systemy informatyczne w praktyce*, Wyd. MIKOM, Warszawa 2000.
- [2] Dudycz H., Dyczkowski M., *Efektywność przedsięwzięć informatycznych. Podstawy metodyczne pomiaru i przykłady zastosowań*. Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej im. Oskara Langego we Wrocławiu. Wrocław 2006.
- [3] Dymowa L., Figat P., Zenkova A., *Metoda i oprogramowanie do oceny wielokryterialnej i wielopoziomowej decyzji w warunkach niepewności rozmytej*, III Krajowa Konferencja "Metody i systemy komputerowe w badaniach naukowych i projektowaniu inżynierskim", Kraków, 19-21 listopada, 2001, s. 575-576. (<http://zsiie.icis.pcz.pl/artykuly/pf/metoda.pdf>)
- [4] Grudzewski W.M., Hejduk I.K., *Metody projektowania systemów zarządzania*, Wyd. Difin, Warszawa 2004.
- [5] Kisielnicki J., Sroka H., *Systemy informacyjne biznesu*, Informatyka dla zarządzania, Agencja Wydawnicza PLACET, Warszawa 1999.
- [6] Kluge P.D., Kuźdowicz P., Orzeszko P., *Controlling wspomagany komputerowo z wykorzystaniem systemu ERP*, Oficyna Wydawnicza Uniwersytetu Zielonogórskiego, Zielona Góra 2005.
- [7] Krupa T., *Projektowanie strategii informatyzacji*, W: Przedsiębiorstwo w procesie globalizacji, red. T. Krupa, WNT, Warszawa 2001.
- [8] Patalas J., *Modelowanie i ocena efektywności wdrożenia systemów ERP w małych i średnich przedsiębiorstwach za pomocą metody GMDH*, rozprawa doktorska, Warszawa 2006.
- [9] Piegat A., *Modelowanie i sterowanie rozmyte*, Akademicka Oficyna EXIT, Warszawa 1999.
- [10] Piegat A., *Fuzzy Modeling and Control*, Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg, Germany 2001.
- [11] Ważna L., *Metoda oceny efektywności wdrożenia zintegrowanego systemu zarządzania ERP APS*, rozprawa doktorska, Wrocław 2009.

- [12] Ważna L., *Wykorzystanie modelowania rozmytego do oceny efektywności celowej planowanego wdrożenia ERP APS* // W: Modele inżynierii teleinformatyki: wybrane zastosowania / red. nauk. M. Kopczewski. T. 3, Koszalin: Wydaw. Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, 2008, s. 282–287.
- [13] Ważna L., Bach I., Banaszak Z., *An effects evaluation of ERP APS system implementation in the uncertain terms with using fuzzy modeling and inference* // Applied Computer Science, 2006, Vol. 2, no 2, s. 105.
- [14] Ważna L., Bach I., Kluge P.D., *Wykorzystanie modelowania i wnioskowania rozmytego do oceny efektów wdrożeń APS w średnich przedsiębiorstwach produkcyjnych* // Przegląd Mechaniczny, 2007, nr 5, supl., s. 156-160.