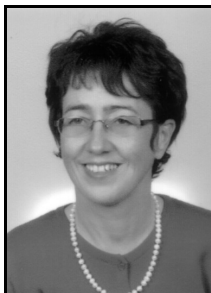


Bożena SKOŁUD, Bożena WYCIŚLIKPOLITECHNIKA ŚLĄSKA, INSTYTUT AUTOMATYZACJI PROCESÓW TECHNOLOGICZNYCH
I ZINTEGROWANYCH SYSTEMÓW WYTWARZANIA**Minimalizacja czasu realizacji projektu w warunkach niepewności**

Dr hab. inż. Bożena SKOŁUD

W latach 1986 - 1990 pracowała w Przedsiębiorstwie Ponar-Bipron. Od 1990 r. zatrudniona w Politechnice Śląskiej. Zainteresowania związane z zarządzaniem operacjami, planowaniem i sterowaniem produkcji, organizacją systemów produkcyjnych, zintegrowanymi systemami zarządzania i wytwarzania, logistyką produkcji, zastosowaniem metod sztucznej inteligencji w zagadnieniach harmonogramowania i sterowania przepływem produkcji, zarządzaniem projektami w kontekście teorii ograniczeń.

e-mail: bozena.skolud@polsl.pl



Mgr inż. Bożena WYCIŚLIK

Doktorantka na Wydziale Mechanicznym Technologicznym Politechniki Śląskiej w zakresie dyscypliny naukowej Budowa i Eksploatacja Maszyn. Zainteresowania związane z zastosowaniem metod sztucznej inteligencji w zarządzaniu projektem.

e-mail: bozena.wycislik@polsl.pl

**Streszczenie**

Wybór odpowiedniej metody planowania projektu jest istotnym zagadnieniem. Powszechnie znane techniki, takie jak Critical Path Method (CPM), Program Evaluation and Review Technique (PERT) pozwalają na minimalizację czasu trwania projektu. Metody te wykorzystywane są do projektów nieskomplikowanych. W artykule przedstawiono zastosowanie logiki rozmytej w zarządzaniu projektem jako alternatywnego kroku do określenia czasu trwania projektu.

Słowa kluczowe: projektowanie, niepewność, PERT**Minimization of project processing time with uncertainty****Abstract**

Finding the most appropriate tool for project scheduling is very important for project management. Known techniques for scheduling project such as Critical Path Method (CPM), Program Evaluation and Review Technique (PERT) allow for the minimization of project completion time. These methods are used for non complex project. In this paper a fuzzy logic has been proposed as an alternative approach to project scheduling.

Keywords: project scheduling, ill data analysis, PERT**1. Zarządzanie projektem**

Narastająca konkurencyjność firm oraz skrócenie cykli życia produktu, wynikających ze zmiennych oczekiwań klientów wymusiły wprowadzenie zmian w zarządzaniu przedsiębiorstwem. Według Brilman'a ponad 25% działalności gospodarczej nadaje się do zarządzania przez projekty. Dotyczy to głównie takich dziedzin, jak inżynieria, sektor prac publicznych, przemysł lotniczy i obronny, budowa statków, doradztwo organizacyjne itp.[1]. Projekt to jednorazowe działanie niepowtarzalne, złożone, skończone w określonym czasie, które prowadzi do zrealizowania unikatowego zdarzenia. Opierając się na definicji zawartej w [13], zarządzanie przez projekty można przedstawić jako „zestaw działań obejmujący planowanie i podejmowanie decyzji, organizowanie, przewodzenie, tj. kierowanie ludźmi i kontrolowanie działań skierowanych na projekty i wykonywanych z zamiarem osiągnięcia celów organizacji w sposób sprawny i skuteczny”. W projekcie określony jest moment rozpoczęcia i zakończenia, a wszystkie prace realizowane w tym przedziale muszą być nadzorowane. Niepowtarzalność to jedna z charakterystycznych cech projektu, ponieważ projekt jest unikatowy zarówno w procesie koncepcji jak i realizacji.

Wymagania rynku i klienta są powodem dużego zróżnicowania produktów i ich indywidualizowania, co jest szczególnie zauważalne w małych i średnich przedsiębiorstwach (MŚP).

Z tego powodu zlecenia produkcyjne traktowane są każdorazowo jako nowe i niepowtarzalne, a sposób zarządzania nimi jest podobny do przypadku zarządzania projektami [14].

W ramach zarządzania projektem uwzględnia się:

- zakres projektu,
- czas potrzebny do realizacji projektu (harmonogram projektu),
- budżet,
- jakość,
- ryzyko.

Zakres, czas i budżet projektu są ściśle ze sobą powiązane, dlatego też ustala się dwa z tych czynników a trzeci jest wynikowy, np. większy zakres projektu wymaga większych nakładów pieniężnych i dłuższego czasu realizacji, czas projektu wpływa na jego koszty, od czasu projektu zależą też możliwości rozszerzenia jego zakresu [2, 3].

2. Metody planowania projektów z wyostrzonymi czasami trwania czynności

Zarządzanie projektem sprowadza się do systematycznego planowania, organizowania, monitorowania, kontrolowania oraz właściwego wykorzystania zasobów produkcyjnych do osiągnięcia celów jednostki gospodarczej. Problemy harmonogramowania projektów najczęściej przedstawiane są w formie sieci grafów. W technikach sieciowych wyróżnia się dwa rodzaje reprezentacji grafów:

- AON – *Activity On Node*, czynność reprezentowana jest na węźle, najczęściej stosowane w metodzie Program Evaluation and Review Technique - PERT
- AOA – *Activity On Arc*, czynność reprezentowana jest przez łuki, najczęściej wykorzystywane w metodzie Critical Path Method - CPM

Najchętniej wykorzystywane techniki planowania sieciowego, CPM oraz PERT, wykorzystywane są do harmonogramowania pojedynczych projektów. Techniki te pozwalają na wyznaczenie:

- terminu zakończenia projektu,
- czynności i zadań krytycznych – zadań, których opóźnienie spowoduje opóźnienie całego projektu,
- czynności niekrytycznych – czynności, które mogą być rozpoczęte z pewnym opóźnieniem,
- prawdopodobieństwa zakończenia projektu w przyjętym terminie.

Planowanie projektu składa się z następujących etapów:

- identyfikacja celów i wymagań,
- określenie standardów i procedur używanych w projekcie,
- identyfikacja i opis działań,
- szacowanie i przydział pracy,
- optymalizacja,
- aktualizowanie planu.

Wspomniane wcześniej metody planowania sieciowego zaprojektowano z myślą o ograniczeniach kolejnościowych, które wiążą części projektu i czas ich trwania. Metody te mają na celu minimalizację całkowitego czasu potrzebnego do ukończenia projektu i znalezienie optymalnej kolejności wykonania zadań przy nałożonych ograniczeniach i ich wzajemne relacje. Różnica pomiędzy tymi metodami polega na interpretacji czasu trwania każdej czynności. W CPM wszystkie czasy trwania zadań są deterministyczne, natomiast w PERT relacje pomiędzy czynnościami są dokładnie określone, lecz czasy trwania są obciążone niepewnością o zadanym rozkładzie. [9] PERT to stochastyczna wersja metody CPM. Przykładem sieci stochastycznej jest także sieć typu GERT, która umożliwia wielowariantowe ustalenie zależności między zdarzeniami w tej samej sieci oraz swobodne dobieranie alternatywnych rozwiązań, wprowadzając probabilistyczne typy zdarzeń w postaci logicznych połączeń czynności, pozwalające na alternatywne drogi rozwiązań. Technika GERT wykorzystuje zarówno elementy algebry grafów jak i sieci GAN. GERT pozwala określić czas i prawdopodobieństwo relacji kolejnych zdarzeń, zapewniają znacznie większą zwartość, oraz klasyfikację rozwiązań pod względem prawdopodobieństw sukcesu oraz pozwala dynamiczną optymalizację struktur modelowych oraz modyfikacje analizowanych [2].

Niepewność to jeden z nieodłącznych aspektów projektu. Plan projektu powinien uwzględniać wszelkie nieprzewidziane okoliczności, problemy i zmiany. Obok kosztorysów i harmonogramów należy opisać założenia, na których je oparto, łącznie z zakresami, które jasno informują o stopniu niepewności. Ze względu na niepewność nie da się przewidzieć rezultatów projektu ze stuprocentową dokładnością. Badania przeprowadzone przez Stadhish Group w 2003 roku wykazują, że tylko 34% projektów kończy się w założonym terminie. Trudnością w harmonogramowaniu projektu w warunkach niepewności z oszacowanymi czasami trwania czynności jest dokładne określenie terminu zakończenia projektu. Rozwiązaniem alternatywnym wydaje się zastosowanie logiki rozmytej do zarządzania projektem – fuzzy CPM [2, 4, 5, 6].

3. Problem harmonogramowania projektu

Celem zarządzania projektem jest dostarczenie klientowi gotowego projektu w terminie określonym w harmonogramie projektu przy zapewnieniu odpowiedniej jakości oraz przy założonym budżecie. Metoda CPM pozwalają na wyznaczenie planowanego terminu ukończenia projektu tylko w przypadku precyzyjnie określonych czasach trwania każdej czynności. Metoda ta nie jest w stanie oszacować terminu ukończenia projektu w nieprecyzyjnych warunkach, nie pozwalają na stwierdzenie czy realizacja danego zadania nie przekroczy założonego czasu. W metodzie PERT czasy wykonywania poszczególnych czynności oraz czas realizacji całego przedsięwzięcia są zmiennymi losowymi. PERT pozwala określić, jakie jest prawdopodobieństwo, że projekt zostanie zakończony w terminie zadanym przez klienta. Z tablic rozkładu normalnego odczytuje się wartość dystrybucyjną zmiennej losowej, czyli prawdopodobieństwo ukończenia projektu w wyznaczonym terminie.

Podczas harmonogramowania projektu bardzo często występuje problem niemożliwości dokładnego określenia czasów trwania czynności projektu, np. oszacowanie w następujący sposób: *czynność A trwa około dwóch dni*. Nie można zastosować klasycznych metod bazujących na precyzyjnych danych, jeśli któraś z wartości podana jest w ten sposób.

Sformułowanie problemu

Nieprecyzyjne wyznaczenie czasów trwania czynności występujących w projekcie powoduje niedokładne wyznaczenie terminu zakończenia projektu, co często prowadzi do przekroczenia zakła-

danego terminu. Przesunięcie terminu zakończenia projektu pociąga za sobą wzrost kosztów i przekroczenie planowanego budżetu. Celem jest dokładne wyznaczenie czasów trwania czynności i wyznaczenie terminu zakończenia projektu przy rozmytych czasach trwania czynności.

W sytuacji, gdy czasy trwania czynności są niejasno określone zastosowanie klasycznych metod wydaje się nieuzasadnione. W artykule zaproponowano alternatywną do klasycznych rozwiązań metodę z rozmytymi czasami trwania czynności uwzględniającą nieprecyzyjnie oszacowane czasy. Fuzzy CPM (analiza rozmytej ścieżki krytycznej) pozwala na określenie czynności krytycznych, a więc takich, których wydłużenie spowoduje przekroczenie planowanego terminu zakończenia projektu, czynności niekrytycznych oraz dokładne wyznaczenie czasów z nieprecyzyjnie oszacowanych informacji wstępnych. Fuzzy CPM pozwala również na wyznaczenie i analizę ścieżki krytycznej w projekcie. Metoda ta prowadzi do dokładnego wyznaczenia terminu zakończenia projektu z nieprecyzyjnie dostarczonych informacji wstępnych.

4. Niepewność czy nieprecyzyjność?

Informacja wykorzystywana w konwencjonalnych metodach matematycznych musi być precyzyjna, np. temperatura wynosi 26°C. Klasyczna logika bazuje więc tylko na dwóch wartościach: prawda i fałsz (1 i 0). Precyzyjnej informacji mogą dostarczyć jedynie precyzyjne urządzenia pomiarowe. Człowiek potrafi ocenić sytuację tylko za pomocą wyrażen: ciepło, zimno, szybko itp. Potrzeba matematycznego opisu nieprecyzyjnych pojęć i zjawisk wymusiła wprowadzenie teorii logiki rozmytej (fuzzy logic). W 1965 roku Lofti Zadeh zaproponował wykorzystanie teorii zbiorów rozmytych do opisu wiedzy nieprecyzyjnej [15]. Do opisu zjawisk logika rozmyta nie tylko posługuje się zdaniem przyjmującymi wartości prawda i fałsz, wartościami 1 i 0, wykorzystuje także zmienne lingwistyczne, które przyjmują jako wartości nieprecyzyjne pojęcia języka mówionego takie jak „średni, dość, delikatny”.

„Przez zmienną lingwistyczną rozumiemy zmienną, której wartościami są słowa lub zdania w języku naturalnym lub sztucznym. Dla przykładu wiek jest zmienną lingwistyczną, jeśli jej wartości są wyrażone słowami, a nie liczbami, to znaczy młody, niemłody, bardzo młody, całkiem młody, stary, nie bardzo stary, itd. zamiast 20, 21, 10, 5, 60, 50, ...” [7]

Teoria zbiorów rozmytych uogólnia pojęcie funkcji charakterystycznej zbioru – funkcja przynależności przyporządkowuje każdemu elementowi zbioru rozmytego wartość zawierającą się w przedziale [0,1], a nie wartości 0 lub 1, jak to ma miejsce w przypadku zbiorów ostrych. Zagadnienia logiki rozmytej pozwalają w prosty sposób wywnioskować wiedzę z nieprecyzyjnych informacji. W niektórych sytuacjach przekazanie dokładnych informacji może jedynie zaciemnić obraz sytuacji (rys. 1.) [5, 7, 10, 12, 15, 16].



Rys. 1. Informacja istotna i precyzyjna
Fig. 1. Significant and Precision information

Niepewność bardzo często mylona jest z nieprecyzyjnością. Niepewność informacji oznacza niepewność występowania jakiegoś wydarzenia, które jest precyzyjnie zdefiniowane. Nieprecy-

zyjność natomiast oznacza niedokładność przekazywanych informacji. Za pomocą nieprecyzyjnych pojęć człowiek określa rzeczywistość. Im bogatsze jest wykorzystywane do tego opisu słownictwo, tym bardziej precyzyjnie człowiek potrafi opisać interesujący go fragment rzeczywistości.

Zbiory rozmyte stosowane są przez ludzi do jakościowej oceny wielkości fizycznych, stanów obiektów oraz do ich porównywania [7, 12, 15, 16].

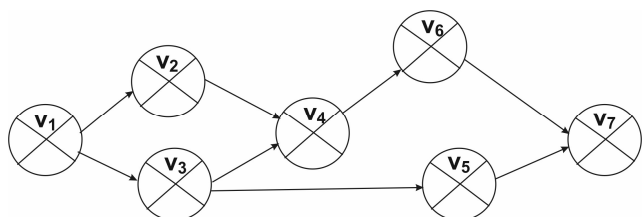
5. Rozmyta optymalizacja projektu – fuzzy CPM

Metoda CPM opiera się na historycznych danych podobnych, wcześniej istniejących już projektów. Przy nowych projektach, gdzie nie można wykorzystać danych historycznych takich jak czas trwania czynności, stosowana jest metoda PERT. Metoda ta wykorzystuje rozkład prawdopodobieństwa (najczęściej jest to rozkład beta) do przedstawienia czasów trwania czynności projektu, co powoduje otrzymanie wartości średniej oraz wariancji każdej czynności występującej w projekcie. W analizowanym przypadku zastosowano metodę fuzzy CPM ponieważ rozważana jest sytuacja, w której wykorzystano istniejące czasy trwania czynności (dane historyczne) i na tej podstawie wyznaczono czasy trwania czynności, których użyto w badanym przypadku (nowy podobny projekt). Logika rozmyta opiera się na nieprecyzyjnych oszacowaniach człowieka wykorzystując do opisu zjawisk zmienne lingwistyczne przyjmujące wartości nieprecyzyjne [18]. Alternatywą do klasycznych metod planowania sieciowego wydaje się wykorzystanie metody planowania sieciowego fuzzy CPM, w której czasy podane są w sposób nieprecyzyjny (np. czas trwania czynności: około 2 dni). W literaturze proponowano wykorzystanie tej metody do wyznaczenia ścieżki krytycznej projektu. C.S. McCahon (Using PERT as an Approximation of Fuzzy Project – Network Analysis), D.L. Mon, C.H. Cheng and H.C.Lu (Appliaction of fuzzy distributions in project management) oraz J.S. Yao, F.T. Lin (Fuzzy Critical Path method Based on Signed Distance Ranking of Fuzzy Numbers) zaproponowali wykorzystanie CPM z wykorzystaniem liczb rozmytych [10, 11]. J.S. FAO, F.T. Lin wykorzystaniu metody rankingowej położenia bezwzględnego punktu dla liczb rozmytych do wyznaczania ścieżki krytycznej grafu typu AON [5, 8, 10].

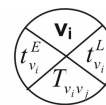
Przykład ilustrujący:

Metodę fuzzy CPM zastosowano do planowania projektu złożonego z siedmiu zdarzeń z rozmytymi czasami trwania każdej czynności. Projekt przedstawiono w postaci sieci typu AON. Dana jest sieć $S = \langle V, A, \tilde{T} \rangle$, gdzie V to zbiór węzłów, a $A \subset V \times V$ to zbiór czynności z rozmytymi czasami (rys. 2, rys. 3). Czas trwania czynności przedstawione są w następujący sposób:

$$\tilde{t}_{v_i, v_j} = (t_{v_i, v_j} - \Delta_{v_i, v_j, 1}, t_{v_i, v_j}, t_{v_i, v_j} + \Delta_{v_i, v_j, 2}) \quad (1)$$



Rys. 2. Sieć AON
Fig. 2. The AON network



Rys. 3. Węzeł
Fig. 3. The node

Niech $V = \{v_1, \dots, v_n\}$ będzie zbiorem siedmiu zdarzeń występujących w projekcie. Zbiór odpowiadających im czynności przedstawiono w tabeli 1. Istota metody CPM polega na wyznaczeniu ścieżki krytycznej projektu (zbiór czynności, który wyznacza minimalny czas realizacji projektu, zapas czasu dla czynności krytycznych równa się 0).

Tab. 1. Zbiór czynności z rozmytymi czasami.
Tab. 1. The activity set with fuzzy duration times

Węzeł $A = \{(v_i, v_j)\}$	Czas $T = \{t_{v_i, v_j}\}$
(v_1, v_2)	około 3 $t_{v_1, v_2} = (2.1, 3, 5)$
(v_1, v_3)	około 4 $t_{v_1, v_3} = (2, 4, 4.1)$
(v_2, v_4)	około 1 $t_{v_2, v_4} = (0.9, 1, 3.5)$
(v_3, v_4)	około 3 $t_{v_3, v_4} = (2.5, 3, 4.2)$
(v_3, v_5)	około 2 $t_{v_3, v_5} = (1.8, 2, 4)$
(v_4, v_6)	około 2 $t_{v_4, v_6} = (0.7, 2, 2.1)$
(v_5, v_7)	około 4 $t_{v_5, v_7} = (3.8, 4, 6)$
(v_6, v_7)	około 5 $t_{v_6, v_7} = (3, 5, 5.2)$

Najwcześniejszy $t_{v_j}^E$ oraz najpóźniejszy $t_{v_i}^L$ moment rozpoczęcia czynności można otrzymać z zależności:

$$t_{v_j}^E = \max_{v_i \in P_j} [t_{v_i}^E + t_{v_i, v_j}] \quad (2)$$

$$t_{v_i}^L = \min_{v_j \in S_i} [t_{v_j}^L + t_{v_i, v_j}] \quad (3)$$

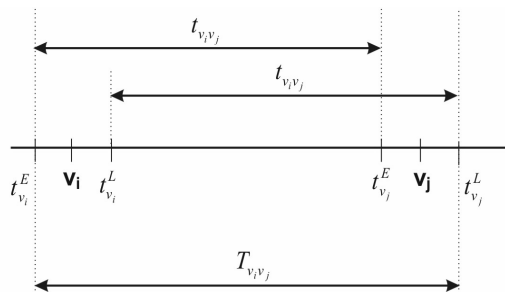
gdzie:

- P_j - zbiór poprzedników zdarzenia v_j ,
 $P_j = \{v_i | v_i \in V \text{ i } (v_i, v_j) \in A\}, v_i < v_j$,
- S_i - zbiór następników zdarzenia v_i ,
 $S_i = \{v_j | v_j \in V \text{ i } (v_i, v_j) \in A\}, v_i < v_j$,
- dla $t_{v_1}^E = t_{v_1}^L = 0$
- $t_{v_n}^L = t_{v_n}^E$.

Całkowity dostępny czas trwania czynności (v_i, v_j) można otrzymać z:

$$T_{v_i, v_j} = t_{v_j}^L - t_{v_i}^E \quad (4)$$

Czynność (v_i, v_j) jest krytyczna wtedy i tylko wtedy, gdy $T_{v_i, v_j} = t_{v_i, v_j}$ i zapas czasu dla tej czynności i równa się zero [5, 8].



Rys. 4. Schemat czynności T_{v_i, v_j} , t_{v_i, v_j} , $t_{v_i}^E$, $t_{v_i}^L$, $t_{v_j}^E$ i $t_{v_j}^L$ w sieci AON [5]

Fig. 4. Diagram of the T_{v_i, v_j} , t_{v_i, v_j} , $t_{v_i}^E$, $t_{v_i}^L$, $t_{v_j}^E$ and $t_{v_j}^L$ in AON network [5]

Oszacowanie czasu trwania czynności (v_i, v_j) :

$$t_{v_i, v_j}^* = d(\tilde{t}_{v_i, v_j}, \tilde{0}_1) = t_{v_i, v_j} + \frac{1}{4}(\Delta_{v_i, v_j, 2} - \Delta_{v_i, v_j, 1}) \quad (5)$$

Tab. 2. Rozmyte czasy trwania czynności

Tab. 2. Estimates of the processing time in the fuzzy sense

Wzłęd $A = \{(v_i, v_j)\}$	Czas $T = \{t_{v_i, v_j}\}$
(v_1, v_2)	$t_{v_1, v_2} = 3.275$
(v_1, v_3)	$t_{v_1, v_3} = 3.525$
(v_2, v_4)	$t_{v_2, v_4} = 1.6$
(v_3, v_4)	$t_{v_3, v_4} = 3.175$
(v_3, v_5)	$t_{v_3, v_5} = 2.45$
(v_4, v_6)	$t_{v_4, v_6} = 1.7$
(v_5, v_7)	$t_{v_5, v_7} = 4.45$
(v_6, v_7)	$t_{v_6, v_7} = 4,55$

Obliczając najwcześniejszy możliwy termin rozpoczęcia czynności (v_i, v_j) , najpóźniejszy możliwy moment rozpoczęcia czynności oraz zapas czasu dla tej czynności otrzymano ścieżkę krytyczną: $v_1 \rightarrow v_3 \rightarrow v_4 \rightarrow v_6 \rightarrow v_7$ a całkowity czas trwania projektu wynosi 12,95 jednostek czasu. W metodzie CPM z ostrymi

czasami trwania czynności również otrzymano taką samą ścieżkę krytyczną, natomiast czas trwania projektu wynosi 14 jednostek czasu.

6. Wnioski

Zarządzanie projektem z wykorzystaniem metody ścieżki krytycznej sprowadza się do wyznaczenia najwcześniejszych i najpóźniejszych momentów rozpoczęcia i zakończenia każdej czynności oraz wyznaczenia zapasu dla każdej czynności. W artykule przedstawiono rozmytą metodę wyznaczania ścieżki krytycznej z nieprecyzyjnie podanymi czasami trwania czynności.

7. Literatura

- [1] Brilman J.: Nowoczesne koncepcje i metody zarządzania. PWE, Warszawa, 2002.
- [2] Trocki M., Gruzca B., Ogonek K.: Zarządzanie projektem, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa, 2003
- [3] Leach L.P.: Critical Chain Project Management, Artach Mouse, Boston 2000.
- [4] Fargier H., Galvagnon V., Dubois D.: Fuzzy PERT in series – parallel graphs, Fuzzy Systems, Volume 2 FUZZ IEEE 2000.
- [5] Yao J.S., Lin F.T.: Fuzzy Critical Path method Based on Signed Distance Ranking of Fuzzy Numbers, IEEE, The Journal of Supercomputing, Vol. 24, Issue 3, 2003.
- [6] www.standishgroup.com
- [7] Dranikov D., Hellendoom H., Reinfrank M.: Wprowadzenie do sterowania rozmytego, WNT, Warszawa 1996.
- [8] Wyciślik B.: Fuzzy logic In implementation for project management, Postępy w Inżynierii Mechaniczne, Gdańsk 2007.
- [9] Skołud B., Zientek A.: Zarządzanie projektem w kontekście teorii ograniczeń, Komputerowo Zintegrowane Zarządzanie, tom II, WNT, Zakopane 2003.
- [10] Liberatore M.J.: Project Schedule Uncertainty Analysis Using Fuzzy Logic, Project Management Journal, Volume 33, No. 4, 2002.
- [11] Chanas S., Dubois D., Zielinski P.: On the Sure Criticality of Task In Activity Networks With Imprecise Durations, Fuzzy Sets and Systems, Vol. 134, I.2, 2003.
- [12] Piegat A.: Modelowanie i sterowanie rozmyte, Akademicka Oficyna Wydawnicza Exit, Warszawa 2003.
- [13] Griffin R.W.: Podstawy zarządzania organizacjami. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1996.
- [14] Skołud B., Zolghardi M.: Capacity planning and scheduling in project oriented production. Proceedings of the 11th IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing INCAM 2004, Salvador da Bahia – Brazil, 5 – 7 April 2004, s. 1 – 6.
- [15] Zadeh L.A.: Fuzzy Sets, Information and Control, vo. 8, s. 338-353, 1965.
- [16] Zadeh L.A., Kacprzyk J.: Fuzzy Logic for the management of uncertainty, New York, John Wiley & Sons Inc., 1992.
- [17] Zadeh L.A.: Fuzzy Sets as a basis for a theory of possibility, Fuzzy Sets and Systems 100 Supplement, s. 9-34, 1999.
- [18] Guiffreda A.L., Nagi R.: Fuzzy Set Theory in Production Management Research: A Literature Survey, www.eng.buffalo.edu/~nagi/papers/fuzzy.pdf