

Krzysztof Ficoń

WYZNACZANIE RYZYKA LOGISTYCZNEGO ZASADY *JUST IN TIME* ZA POMOCĄ ZBIORÓW ROZMYTYCH

STRESZCZENIE

W pracy przedstawiono koncepcję wykorzystania teorii zbiorów rozmytych A. Zadeha aplikowanej w strukturze tzw. rozmytych sterowników E. Mamdaniego do wyznaczania zintegrowanego ryzyka logistycznej zasady *Just in Time*. W tym celu ryzyko *Just in Time* zdekomponowano na trzy ryzyka cząstkowe dotyczące: ryzyka czasowo-przestrzennego, ryzyka jakościowo-ilościowego oraz ryzyka ceny rynkowej. Dla wyodrębnionych kategorii ryzyk cząstkowych zostały zdefiniowane właściwe zmienne lingwistyczne i odpowiadające im zbiory rozmyte (termy). Na podstawie mechanizmów sterowników rozmytych Mamdaniego wyznaczono aktualną dla przyjętych założeń wartość ryzyka logistycznej zasady *Just in Time*.

Słowa kluczowe: ryzyko, just in time, zbiory rozmyte.

Wstęp

Ryzyko ze swojej natury, jako mierzalna niepewność, jest kategorią analityczną i najczęściej jest wyznaczane za pomocą odpowiednich formuł matematycznych lub atrakcyjnych zobrazowań graficznych np. w postaci wielopolowych macierzy ryzyka. Stosunkowo rzadko do wyznaczania ryzyka wykorzystuje się nieanalityczne procedury bazujące na innych formułach niż tradycyjna postać ilorazowa – prawdopodobieństwo \times skutki. Takie niekonwencjonalne podejście zaprezentowano poniżej wykorzystując do tego celu metody *Soft Computing* sztucznej inteligencji, a konkretnie elementy teorii zbiorów rozmytych *Fuzzy Sets* A.L. Zadeha [Zadeh, 1965]. Do wyznaczenia wymiernego (liczbowego) ryzyka wykorzystano rozmyte, jakościowe pojęcia teorii zbiorów rozmytych, uzyskując

w efekcie wartość szukanego ryzyka wyrażoną albo w kategoriach ilościowych (wymiernych), albo w kategoriach jakościowych (opisowych). Jako aparat narzędziowy wykorzystano tzw. sterowniki rozmyte FLC (*Fuzzy Logic Controller*) E. Mamdaniego [Mamdani, 1976], pozwalające na dwustronną transformację wielkości jakościowych w wartości ilościowe i odwrotnie.

Dotychczas teoria zbiorów rozmytych *Fuzzy Sets*, a zwłaszcza mechanizm sterowników rozmytych FLC Mamdaniego były szeroko stosowane przede wszystkim w obszarze aplikacji technicznych, głównie w automatyce przemysłowej i rozlicznych zastosowaniach użytkowych (codziennych). Wykorzystanie elementów zbiorów rozmytych w obszarze nauk ekonomicznych należało do rzadkości. Podjęta w niniejszej pracy próba dotyczy szczególnego rodzaju ryzyka logistycznego – kardynalnej zasady *Just in Time* poszerzonej o kompetencje sprzężonej z nią zasady dostępności, znanej jako zasada „5W” obejmującej takie atrybuty jak: właściwy czas, miejsce, towar, ilość, jakość i właściwą cenę. Tytułowe ryzyko *Just in Time* jest formalnie superpozycją 5 składowych ryzyk cząstkowych, które zostały zagregowane do 3 kategorii syntetycznych, występujących jako: ryzyko czasowo-przestrzenne, ryzyko ilościowo-jakościowe i ryzyko ceny rynkowej. Poszczególne rodzaje ryzyk składowych, podobnie jak ryzyko globalne *Just in Time* zostały wyznaczone za pomocą jednolitej procedury logiczno-analitycznej opartej na elementach zbiorów rozmytych FS i sterownikach rozmytych FLC.

Głównym celem pracy jest zbadanie użyteczności teorii i narzędzi zbiorów rozmytych *Fuzzy Sets* na gruncie aplikacji ekonomicznych przy wyznaczaniu szczególnej kategorii ryzyka gospodarczego, jakim jest ryzyko logistyczne *Just in Time*. Przedstawiona procedura obliczeniowa, choć jest dość pracochłonna posiada duży walor dydaktyczny, a jej praktyczną użyteczność zasadniczo można zwiększyć wykorzystując dostępne aplikacje komputerowe.

1. Geneza i standardy logistycznej zasady *Just in Time*

Logistyka powszechnie definiowana, jako „zarządzanie całym łańcuchem dostaw¹” jest subdyscypliną lokowaną w dziedzinie nauk ekonomicznych i w obszarze nauk o zarządzaniu oraz praktyczną sztuką sterowania fizycznymi procesami przemieszczania materiałów (towarów) w określonej czasoprzestrzeni, według ekonomicznych kryteriów minimalnych kosztów, przy jednoczesnym spełnieniu rynkowego paradygmatu maksymalnego zaspokojenia potrzeb klientów. Jako sztuka działań praktycznych jest procesem dynamicznym, polegającym na pokonaniu czasu i przestrzeni organizowanym dziś w strukturze rozmaitych łańcuchów dostaw SCM (*Supply Chain Management*) przy wydatnym wspomaganie za pomocą nowoczesnych technologii teleinformatycznych IT (*Information Technology*), głównie Internetu.

¹ Instytut Logistyki i Zarządzania Dystrybucją – Londyn 1991.

Atrybut dynamiki czasoprzestrzennej niejako w sposób naturalny generuje różne kategorie zagrożeń i związanego z nim ryzyka, odnoszonego do możliwości wystąpienia niepożądanych zdarzeń i ich pozytywnych lub negatywnych następstw. Ryzyko procesów logistycznych jest więc permanentną cechą ich fizycznej realizowalności i posiada bardzo skomplikowaną strukturę i również złożone kryteria klasyfikacyjne i ocenowe [Kulińska, 2011a]. Bardzo aktywnym obszarem występowania ogólnie rozumianego ryzyka logistycznego jest sfera dynamicznych procesów i łańcuchów logistycznych organizowanych według kardynalnej zasady *Just in Time*, definiowanej ogólnie, jako system organizacji działającej dokładnie na czas [Penc, 1997: 181].

Geneza zasady *Just in Time* wywodzi się z początku XX w. i ma swój rodowód w amerykańskim przemyśle motoryzacyjnym w fabrykach Henry Forda, który jako pierwszy dostrzegł korzyści z eliminowania zapasów dzięki dostawom dokładnie na czas, najlepiej w ostatniej chwili. Po II wojnie światowej elementy *Just in Time* zostały wdrażane w amerykańskich sieciach handlowych typu „7-Seven”, które zainspirowały późniejszego szefa Toyoty Taiichi Ohno do ich wdrożenia w przemyśle japońskim. Pełne wdrożenie koncepcji *Just in Time* w zakładach Toyoty nastąpiło dopiero w roku 1962, a kolejne 10 lat zajęło upowszechnianie tej filozofii wśród wszystkich głównych dostawców [Witkowski, 1999: 47]. Zbudowany na bazie *Just in Time* japoński styl zarządzania *Toyota Production System* (TPS) stał się niedoścignionym standardem dla współczesnych systemów produkcyjnych. Toyota, choć formalnie nie była miejscem narodzin *Just in Time* wniosła największy wkład w jej rozwój i perfekcyjne wdrożenie. Na ten sukces japońskiej marki i standardu TPS złożyło się szereg czynników natury historycznej, psychologicznej i organizacyjnej.

Poprzednikiem *Just in Time* w gospodarce japońskiej był prosty system sterowania zapasami *Kanban*, a także tradycyjna filozofia usprawnień *Kaizen*, solidarna organizacja społeczno-gospodarcza *Keiretsu* czy takie hasła jak *Sakuru*, *Jidoka* czy *Muda*. Permanentna walka ze wszelkim marnotrawstwem, czyli *Muda* stała się symbolem i stymulatorem przodującej gospodarki japońskiej, umiejętnie łączącej tradycje z nowoczesnością i ogromnym postępem naukowo-technicznym i organizacyjnym. Natomiast szczególnie silne związki z *Kanban* podkreślają klasycy nie tylko amerykańskiej logistyki, kiedy twierdzą, że koncepcja *Just in Time* jest zamerykanizowaną wersją systemu *Kanban* opracowanego w Japonii przez firmę *Toyota Motor Company* [Coyle i in., 2002: 123].

Jedna z wielu definicji mówi, że *Just in Time* jest rozumiane jako dostawy materiałów bezpośrednio na taśmy produkcyjne bez wcześniejszego ich magazynowania [Milewski, Milewska, 2001: 8]. To samo źródło precyzuje dalej, że w systemie *Just in Time* właściwe materiały, części i produkty powinny znaleźć się we właściwym czasie i miejscu, w odpowiednim stanie i ilości [Milewski, Milewska, 2001: 20]. Z kolei S. Abt konstatuje, że *Just in Time* w odniesieniu do przepływów materiałowych i towarowych dokonała rewolucji w gospodarowaniu – zarządzaniu logistycznym zarówno w odniesieniu do przedsiębiorstwa, jak też do całego łańcucha dostaw [Abt, 1998: 40]. Według E. Gołembskiej *Just in Time* to technika

zarządzania, która polega na przemieszczaniu właściwych produktów logistycznych we właściwe miejsce i we właściwym czasie. Istota tej metody polega na tym, że jest ona zsynchronizowana z wielkością popytu oraz związana ograniczeniem zapasów do niezbędnego minimum [Gołomska¹⁹⁹⁴: 98]. W szerszym znaczeniu w obszarze logistyki zasadę *Just in Time* odnosi się do spełnienia tzw. kryterium 5W lub 5R – właściwy czas (*Right Time*), właściwe miejsce (*Right Place*), właściwy towar (*Right Goods*), właściwa jakość (*Right Quantity*) i właściwa ilość (*Right Quality*) [Pfohl, 1998: 12].

Dla dalszych potrzeb będziemy korzystać z rozszerzonej definicji *Just in Time* obejmującej takie argumenty jak:

$$JiT = f(T, M, Q, K, \$) \rightarrow \min Z \quad (1)$$

gdzie:

- $T = T^* \pm \tau$ – planowany termin dostawy z dokładnością $\tau \rightarrow \min$,
- $M = M^* \pm (\varphi, \lambda)$ – planowane miejsce dostawy z dokładnością $\Delta(\varphi, \lambda) \rightarrow \min$,
- $Q = Q^* \pm B_Q$ – planowana jakość dostawy z dokładnością $B_Q \rightarrow \min$,
- $K = K^* \pm \beta_M$ – planowana ilość dostawy z dokładnością $\beta_M \rightarrow \min$,
- $\$ = \$^* \pm \beta_S$ – planowana cena dostawy z dokładnością $\beta_S \rightarrow \min$,
- Z – rzeczywisty poziom zapasów materiałowych.

Jak wynika z wyrażenia (1) w dynamicznej gospodarce rynkowej praktycznie każdy z argumentów funkcji *Just in Time* jest potencjalnym nośnikiem ryzyka, symbolizującego zmaterializowaną (wymierną) niepewność, będącą pochodną szerokiego spektrum zagrożeń, na jakie narażone są przede wszystkim dynamiczne procesy logistyczne, choć także statyczne systemy logistyczne nie są wolne od rozmaitych zagrożeń. W formule (1) ryzyko logistyczne (R) można przypisać każdemu argumentowi symbolizowanemu przez określony współczynnik tolerancji (\pm):

$$JiT = f(T(R_T), M(R_M), Q(R_Q), K(R_K), \$(R_S)) \rightarrow \min R \quad (2)$$

gdzie:

- R_T – ryzyko terminu dostawy,
- R_M – ryzyko miejsca dostawy,
- R_Q – ryzyko jakości dostawy,
- R_K – ryzyko ilości dostawy,
- R_S – ryzyko ceny rynkowej dostawy,
- R – ryzyko logistyczne *Just in Time*.

Biorąc pod uwagę fakt, że wszystkie argumenty funkcji *Just in Time* (2) są zależne od różnych kategorii ryzyka (R_i) nie trudno przenieść tą prawidłowość na całą koncepcję zarządzania według zasady *Just in Time*. Pośrednio więc ryzyko logistyczne *Just in Time* rzutować będzie na poziom zapasów Z , a tym samym na ekonomiczną efektywność działalności logistycznej [Rogowska, 2011]. Prowadzenie działalności biznesowej w otwartej gospodarce rynkowej jest naturalnie determinowane losowością procesów rynkowych, a najbardziej wrażliwym ich obszarem jest sfera materialnych przepływów dóbr fizycznych, symbolizowana przez dynamiczne procesy logistyczne.

2. Pojęcie i atrybuty ryzyka

We współczesnej gospodarce rynkowej zarządzanie ryzykiem jest standardem międzynarodowym, czego wyrazem są struktury *Enterprise Risk Management* (ERM) funkcjonujące dziś w wielu rynkowych przedsiębiorstwach i światowych korporacjach [Ficoń, 2014b: 25–41]. Wdrożenie koncepcji zarządzania zintegrowanym ryzykiem ERM jest przedsięwzięciem, którego głównym celem jest identyfikacja, kontrola i zarządzanie ryzykiem w całej organizacji. Menedżer ryzyka RM (*Risk Manager*) powinien pełnić w organizacji funkcję doradczą i pomocniczą, stymulując nowoczesne standardy organizacji opartej na wiedzy *know-how* oraz poczucie bezpieczeństwa i ładu korporacyjnego (*Corporate Governance*). Skuteczne zarządzanie ryzykiem logistycznym w obszarze *Just in Time* jest istotnym elementem strategii ERM w każdym przedsiębiorstwie rynkowym, uczestniczącym w globalnych łańcuchach dostaw.

Podstawą funkcjonowania biznesowych struktur ERM są m.in. międzynarodowe standardy zarządzania ryzykiem takie jak: amerykański COSOII:2004 (*The Committete of Sponsoring Organizations of the Tradeway Commission*), europejski FERMA:2002 (*Federation of European Risk Management Asociations*), australijsko-nowozelandzki AS/NZS:2004, międzynarodowa norma ISO 3100:2009, czy metodyki PRINCE2:1989, (*Projects In a Controlled Environment*) oraz Polski Podręcznik Zarządzania Ryzykiem: 2004, w których zostały zamieszczone definicje ryzyka i procesu zarządzania ryzykiem (tabela 1 i 2).

Tabela 1. Wybrane standardowe definicje ryzyka

FERMA: 2002	Ryzyko – kombinacja prawdopodobieństwa wystąpienia zdarzenia oraz jego skutków.
COSO II: 2004	Ryzyko – możliwość, że zdarzenie będzie miało miejsce i negatywnie wpłynie na osiągnięcie celów.
AS/NZS: 2004	Ryzyko – możliwość wystąpienia zdarzenia mającego wpływ na działalność, doprowadzającego do powstania zysku lub straty mierzone z punktu widzenia prawdopodobieństwa oraz konsekwencji.
ISO 31000: 2009	Ryzyko – efekt niepewności w osiąganiu celów. Efekt ten jest pozytywnym lub negatywnym odchyleniem od oczekiwanego celu.
Polski podręcznik ZR – 2004	Ryzyko – niepewność związana ze zdarzeniem lub działaniem, które wpłynie na zdolność organizacji do realizacji celów jej działalności.
PRINCE2 - 1989	Ryzyko – (projektowe) niepewność wyniku przedsięwzięcia projektowego związana z innowacyjnością projektu oraz zmianami w otoczeniu biznesowym generujących możliwość wystąpienia zdarzeń nieplanowanych, mogących mieć istotny wpływ na sposób realizacji projektu.

Źródło: [Ficoń, 2013a: 34].

Ryzyko jest ilościową miarą niepewności, która jest naturalnym atrybutem wszelkiej działalności gospodarczej, polegającej formalnie na nieustannym podejmowaniu różnych decyzji biznesowych. Decyzje te z uwagi na niepełne i nieprecyzyjne informacje wejściowe oraz niezwykle turbulentne środowisko ich wdrażania (konkurencja rynkowa) są zawsze obdarzone pewnym pierwiastkiem błędu, przypadkowości i ograniczonej wiarygodności [Kulińska, 2011a: 95]. Dopuszczalny margines tej niepewności nauka usiłuje zobrazować przy pomocy kategorii ryzyka, które jest miarą wymierną i relatywną. Najbardziej popularna tzw. definicja obliczeniowa ryzyka (R) (R) występuje w następującej postaci:

$$R = p \times \$ \rightarrow \mathfrak{R}^+ \quad (3)$$

gdzie:

R – ryzyko (obliczeniowe, inżynierskie),

$p \in [0, 1]$ – prawdopodobieństwo wystąpienia zdarzenia,

$s \in (0, \infty]$ – prognozowane skutki tego zdarzenia,

\mathfrak{R}^+ – zbiór liczb rzeczywistych.

Prowadzenie rynkowej działalności gospodarczej jest obciążone różnymi rodzajami zagrożeń, mającymi charakter obiektywny, naturalny, przyrodniczy, a także subiektywny, społeczny, cywilizacyjny czy świadomy i celowy. Zagrożenia te implikują określone kategorie niepewności wyniku, czyli rozmaite ryzyka. Ryzyko, stanowiące stały czynnik każdej działalności gospodarczej, w szczególności w stopniu ujawnia się w dynamice procesów logistycznych, cechujących się wysokim poziomem wrażliwości na różne zagrożenia. Naturalna dynamika procesów logistycznych realizowanych w wysoce zmiennych warunkach gospodarki rynkowej, pod nieustanną presją czynnika czasowego, na wysokim poziomie konkurencyjności przyczynia się do ciągłego powiększania katalogu zagrożeń i wzrostu poziomu ryzyka logistycznego [Ficoń, 2013].

W działalności gospodarczej ryzyko może być traktowane jako rodzaj analitycznego wskaźnika, który może być podstawą celowego oddziaływania sterowniczego, np. na systemy ekonomiczne, społeczne, techniczne i inne. Oddziaływanie to jest powszechnie realizowane w nauce i praktyce np. gospodarczej za pomocą określonych procedur zarządzania ryzykiem, które standardowo obejmują: identyfikację ryzyka, analizę ryzyka, wartościowanie ryzyka, reagowanie na ryzyko (tabela 2).

Na rynku krajowym wśród coraz większej liczby przedsiębiorstw filozofia ERM znajduje coraz większe uznanie, a jej stymulatorem jest m.in. prężnie działające stowarzyszenie POLRISK [Zarządzanie ryzykiem, 2016] i inne organizacje naukowe i gospodarcze propagujące pilną konieczność zarządzania zintegrowanym ryzykiem. W takich krajach jak, np. USA, Japonia, Niemcy czy Wielka Brytania zarządzanie zintegrowanym ryzykiem ERM pokonuje klasyczne kultury zarządzania biznesowego i stanowi obowiązkową procedurę działalności menedżerskiej. Formalna analiza ryzyka typu ERM to dziś istotny element każdego większego przedsięwzięcia, zarówno biznesowego, jak też znaczącego projektu publicznego warunkująca jego rozpoczęcie i docelowo powodzenie.

Tabela 2. Wybrane standardowe definicje zarządzania ryzykiem

FERMA: 2002	Zarządzanie ryzykiem – proces, w ramach, którego organizacja w sposób metodyczny rozwiązuje problemy związane z ryzykiem.
COSO II: 2004	Zarządzanie ryzykiem – realizowany przez zarząd kierownictwo lub inny personel przedsiębiorstwa uwzględniony w strategii proces, którego celem jest identyfikacja potencjalnych zdarzeń mogących wywrzeć wpływ na przedsiębiorstwo, utrzymanie ryzyka w granicach oraz rozsądne zapewnienie realizacji celów organizacji.
AS/NZS: 2004	Zarządzanie ryzykiem – kultura proces i struktury bezpośrednio skoncentrowane na realizacji korzyści przy jednoczesnym kontrolowaniu zagrożeń.
ISO 31000: 2009	Zarządzanie ryzykiem – systematyczne stosowanie polityk zarządzania, postępowań i praktyk w zakresie komunikacji i konsultacji, zakładających kontekst działalności, identyfikowanie, analizowanie, ocenianie, traktowanie oraz monitoring i przegląd ryzyka.
Polski podręcznik ZR - 2004	Zarządzanie ryzykiem – logiczna i systematyczna metoda tworzenia kontekstu, identyfikacji, analizy, oceny, działania nadzoru oraz informowania o ryzyku w sposób, który umożliwi organizacji minimalizację strat i maksymalizację możliwości.
PRINCE2 - 1989	Zarządzanie ryzykiem – (projektowym) polega na utrzymywaniu ryzyka w akceptowalnych granicach w sposób efektywny i racjonalny kosztowo.

Zródło: [Ficoń, 2013a: 34].

3. Elementy teorii zbiorów rozmytych

W klasycznej analizie ryzyka opartej na definicji obliczeniowej (3) zarówno wyznaczona wartość ryzyka R , jak też jego poszczególne czynniki p i $\$$ są wyrażone za pomocą liczb rzeczywistych, choć *de facto* wyrażają pewną hipotetyczną miarę niepewności. W przypadku wyznaczania ryzyka obliczeniowego (3) zarówno prawdopodobieństwo wystąpienia zdarzeni krytycznego, jak też jego negatywne (lub pozytywne) skutki, opisane są liczbami rzeczywistymi wystandaryzowanymi w określonym przedziale zmienności. Ryzyko, ze względu na walor niepewności, ma zazwyczaj charakter rozmyty i nieostry, i w języku potocznym wyrażane jest najczęściej w postaci jakościowej typu: „ryzyko małe”, „ryzyko średnie”, „ryzyko duże”. Wobec tego do opisu stochastycznej funkcji ryzyka (3) zostanie zastosowana formuła, bazująca na teorii zbiorów rozmytych (*Fuzzy Sets*) operującej jakościowymi wartościami nieostrymi należącymi do kategorii zmiennych lingwistycznych (*Linguistic Variable*).

Teoria zbiorów rozmytych, występująca dalej, jako teoria *Fuzzy*, należy obok sztucznych sieci neuronowych (*Artificial Neural Networks*) i algorytmów genetycznych (*Genetic Algorithms*) do tzw. metod obliczeniowych sztucznej inteligencji

(*Artificial Intelligence*) [Ficoń, 2013: 107 i n.] i dzięki tzw. sterownikom Mamdaniego jest bardzo intensywnie eksploatowana głównie w automatyce, robotyce i w wielu innych dziedzinach użytkowej sztuki inżynierskiej. Twórcą teorii *Fuzzy* jest Askar Lofti Zadeh [Zadeh, 1965: 338–353], który w roku 1965 opracował podstawy zbiorów rozmytych, a wkrótce potem użytkowy aparat logiki rozmytej (*Fuzzy Logic*) [Zadeh, 1975: 407-428]. Zbiorem rozmytym A w przestrzeni X nazywamy zbiór par:

$$A = \{(x, \mu_A(x); x \in X\} \quad (4)$$

gdzie:

$\mu_A(x)$ – funkcja przynależności elementu $x \in X$ do zbioru rozmytego A .

Funkcja przynależności (*Membership Function*) definiowana jest jako:

$$\mu_A: X \rightarrow [0, 1] \quad (5)$$

Funkcja przynależności μ_A dla każdego $x \in X$ przyporządkowuje stopień przynależności $\mu_A(x)$ do zbioru rozmytego A zawierający się w przedziale domkniętym $[0,1]$. W ogólności funkcja przynależności $\mu_A(x)$ może przyjmować następujące wartości:

$\mu_A(x) = 0$ – brak przynależności elementu x do zbioru A ,

$\mu_A(x) = 1$ – pełna przynależność elementu x do zbioru A ,

$\mu_A(x) \in (0, 1)$ – częściowa przynależność elementu x do zbioru A .

Posługiwanie się teorią *Fuzzy* wymaga zdefiniowania tzw. zmiennych lingwistycznych, czyli takich zmiennych, które mogą przyjmować nieostre (jakościowe) wartości z języka naturalnego [Mamdani, 1976: 1585–1588]. Zmienną lingwistyczną opisuje się za pomocą następującej trójki:

$$\langle X, x, L \rangle \quad (6)$$

gdzie:

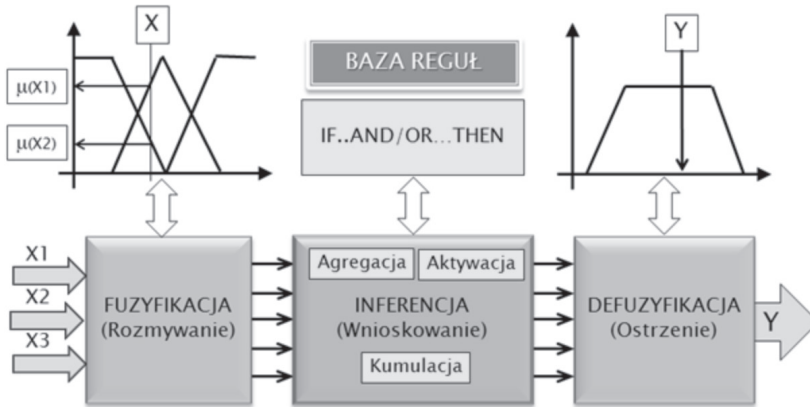
X – zmienna lingwistyczna – wyrażone w języku naturalnym określenie pewnej wielkości (stanu, procesu, systemu), np. temperatura, wzrost, ciśnienie, prędkość, uroda, charakter, pogoda, ryzyko itp.,

x – wartość zmiennej lingwistycznej – określona w języku naturalnym cecha najczęściej wartościująca (stopniowalna) tej zmiennej, np. „zimno”, „gorąco”, „niski”, „wysoki”, „małe”, „duże”, „piękny”, „brzydki”, itp.,

L – przestrzeń lingwistyczna (rozważań) – zbiór wszystkich możliwych wartości lingwistycznych stosowanych do oceny (stopniowania) danej zmiennej lingwistycznej.

Funkcjonowanie systemów rozmytych typu *Fuzzy* polega na 3-etapowym przetwarzaniu wejściowych zmiennych ilościowych (lub jakościowych) na pojęcia lingwistyczne, następnie modelowaniu systemu na podstawie bazy reguł, która powinna odzwierciedlać pewną wiedzę ekspercką o badanym systemie (procesie). Na koniec wyjściowe sygnały (zbiory) rozmyte są przetwarzane z powrotem na zmienne ilościowe. Konceptualna struktura typowego modelu

rozmytego typu FLC (*Fuzzy Logic Controller*) obejmuje trzy główne bloki: fuzyfikacji (rozmywania), inferencji (wnioskowania) i defuzyfikacji (ostrzenia) (rysunek 1).



Rysunek 1. Struktura organizacyjno-funkcyjna systemu FLC

Źródło: Opracowanie własne.

Rozmywanie (fuzyfikacja) polega na przyporządkowaniu ostrej wartości sygnału wejściowego do odpowiedniego zbioru terminów zmiennej lingwistycznej, z jednoczesnym obliczeniem wartości funkcji przynależności. Wyostrzanie (defuzyfikacja) pozwala na obliczanie ostrej (liczbowej) wartości wyjścia na podstawie wynikowej funkcji przynależności. Wartość liczbową wyjścia obliczana jest na podstawie ustalonych formuł transformacji zbiorów rozmytych do wartości ostrej. Wewnętrzny blok wnioskowania (inferencji) bazuje na zbiorze reguł i zdań logicznych wykorzystujących tautologię wnioskowania logicznego. Zdania logiczne budowane są według pewnego standardu opartego na językach programowania wysokiego poziomu:

$$\text{If } (A = A1) \text{ and / or / not } (B = B1) \text{ and ... then } (Z = Z1) \quad (7)$$

gdzie:

A, B, \dots – zbiory rozmyte.

Wnioskowanie z wykorzystaniem zbioru reguł logicznych (7) jest procesem trój etapowym. Na wstępie dokonuje się tzw. agregacji, czyli określa się stopień spełnienia poprzedników poszczególnych reguł logicznych. Podczas agregacji wykorzystuje się specjalne operatory logiki rozmytej tzw. T-normy (dla operatora logicznego *and*) lub S-normy (dla operatora logicznego *or*). Następnie wykonuje się tzw. aktywację, czyli określa się stopień przynależności następnika poszczególnych reguł. Trzecim etapem jest tzw. akumulacja, czyli określenie wynikowej funkcji przynależności na podstawie stopnia aktywacji poprzedników. Na etapie kumulacji dokonuje się scalenia w pojedynczy zbiór wyników wszystkich reguł wnioskowania [Mamdani, 1977: 669–678].

Zgodnie z podejściem zaproponowanym przez Zadeha [Zadeh, 1975: 30] opartym na tzw. regule *modus ponens* przyjmuje się założenie, że stopień spełnienia poprzednika, określony wartością funkcji przynależności w jakimś stopniu wpływa na spełnienie następnika. Do określenia tej zależności wykorzystuje się operatory implikacji rozmytej, z których najbardziej popularne są operatory Mamdaniego min/max [Piegat, 2003: 140 i n.]:

$$\mu_{A \rightarrow B} = \min\{\mu_A, \mu_B\} \quad (8)$$

$$\mu_{A \cup B} = \max\{\mu_A, \mu_B\} \quad (9)$$

Ostatnim etapem działania algorytmu (modelu) *Fuzzy* jest wyostrzanie, pozwalające na uzyskanie ostrej wartości wyjściowej najczęściej w postaci pewnej liczby rzeczywistej, stanowiącej szukaną wielkość np. ryzyka. Istnieje wiele metod wyostrzania wynikowego zbioru rozmytego na określoną wartość rzeczywistą stanowiącą szukane wyjście. Do najbardziej popularnych należą: metoda środka maksimum (MOM – *Middle of Max*), pierwszego maksimum (FOM – *First of Max*), ostatniego maksimum (LOM – *Latest of Max*), środka ciężkości (COA – *Center of Gravity*) i środka sum (BOA – *Bisector of Area*).

Należy zaznaczyć, że wykorzystanie zadehowskiej teorii zbiorów rozmytych *Fuzzy* aplikowanej w strukturze modeli rozmytych nie wymaga formalnej znajomości przebiegu rozpatrywanych procesów czy obiektów fizycznych. Eliminuje potrzebę precyzyjnego modelowania matematycznego w oparciu o pewne prawa fizyczne lub ekonomiczne, gdyż należy jedynie sformułować zasady postępowania w formie logicznych reguł zdroworozsądkowych opisujących działanie tego algorytmu (modelu) w konkretnych warunkach rzeczywistych. Do tego celu wystarczy tzw. wiedza ekspercka i odpowiednio bogate doświadczenie w określonej dziedzinie, aby zbudować zbiór reguł logicznych realizujących określone zadanie. Za pomocą nieostrej logiki rozmytej budowany jest zestaw reguł formalnie opisujących funkcjonowanie danego urządzenia czy systemu. Obszernym polem przemysłowej aplikacji teorii *Fuzzy* są tzw. sterowniki rozmyte Mamdaniego FLC (*Fuzzy Logic Controller*), występujące bardzo powszechnie m.in. w urządzeniach automatyki użytkowej takich jak klimatyzatory, aparaty fotograficzne, pralki automatyczne, a także sygnalizatory uliczne, hamulce ABS i inne.

4. Model wyznaczania rozmytego ryzyka *Just in Time*

Praktyczne wykorzystanie teorii zbiorów rozmytych bazującej na bazie wiedzy eksperckiej i modelach rozmytych Mamdaniego zilustrowano na przykładzie systemu wyznaczania uogólnionego ryzyka *Just in Time*, będącego niejawną funkcją trzech ryzyk cząstkowych: ryzyka czasowo-przestrzennego, ryzyka jakościowo-ilościowego oraz ryzyka ceny rynkowej [Wieteska, 2011, s. 78 i n.]. Dla potrzeb dalszych rozważań pod pojęciem ryzyka logistycznego *Just in Time* (R_{JIT}) będziemy rozumieć superpozycję trzech kategorii ryzyka obejmujących:

$$R_{JiT} \equiv R_3: R_1 \times R_2 \times R_5 \rightarrow \mathfrak{F}^+ \quad (10)$$

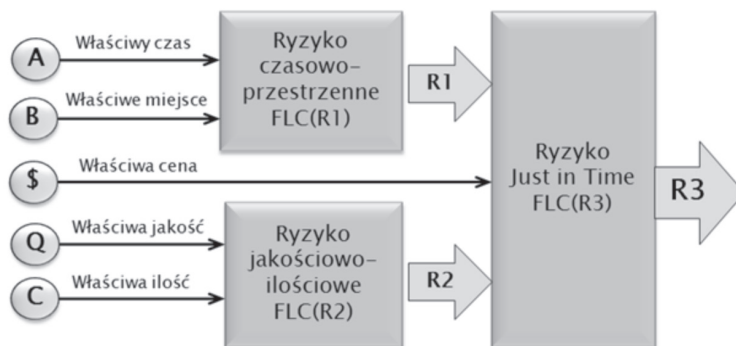
gdzie:

R_1 – ryzyko czasowo-przestrzenne,

R_2 – ryzyko jakościowo-ilościowe,

R_5 – ryzyko ceny rynkowej.

Intuicyjnie rozumiane ryzyko, także logistycznej zasady *Just in Time*, jest najczęściej wyrażane w jakościowych kategoriach rozmytych, za pomocą umownych wartości lingwistycznych typu: „bardzo małe”, „małe”, „średnie”, „duże”, „bardzo duże” itp. Występujące w formule (10) poszczególne ryzyka cząstkowe – R_1 , R_2 , R_5 będziemy traktować, jako wejściowe zmienne lingwistyczne, natomiast szukane ryzyko logistyczne R_3 jest rozmytą wielkością wyjściową generowaną przez projektowany system rozmyty $FLC(JiT)$.



Rysunek 2. Model logiczno-konceptualny procedury fuzji wyznaczania rozmytego ryzyka logistycznego *Just in Time*

Źródło: Opracowanie własne.

Przedstawiony na rysunku 2 model logiczno-konceptualny wyznaczania rozmytego ryzyka logistycznego *Just in Time* odpowiada złożonej – szeregowo-równoległej wersji sterownika rozmytego FLC składającego się formalnie z 3 sterowników rozmytych zawierających:

$$FLC = FLC(R1) \cup FLC(R2) \cup FLC(R3) \quad (11)$$

gdzie:

$FLC(R1)$ – rozmyte ryzyko czasowo-przestrzenne,

$FLC(R2)$ – rozmyte ryzyko jakościowo-ilościowe,

$FLC(R3)$ – rozmyte ryzyko logistyczne *Just in Time*.

Aby wyznaczyć szukane ryzyko logistyczne *Just in Time* $FLC(R3)$ należy sukcesywnie obliczyć poszczególne czynniki tego ryzyka, będące produktem sterowników $FLC(R1)$ oraz $FLC(R2)$. Zgodnie z zasadami modelowania rozmytego *Fuzzy*, budowany system rozmyty FLC stanowi rodzaj czarnej skrzynki cybernetycznej, na wejściu której występują, w tym przypadku trzy sygnały wejściowe – $R1$, $R2$, $R5$, natomiast na wyjściu oczekujemy ich transformacji w postaci ryzyka *Just in*

Time (R3). Chwilowo struktura i wewnątrz tej skrzynki nie są znane, a interesują nas tylko sygnały wejście/wyjście [Ficoń, 2014: 28–46].

Jak wynika z przyjętego schematu transformacji tych sygnałów, na wejściu występują specyficzne kategorie ryzyka – $R1$, $R2$, $R\$$, których natura jest dość obszernie opisana w literaturze [Kulińska, 2011b: 385 i n.]. Dlatego potraktujemy je jako dane wejściowe o znanych, ale rozmytych parametrach. Na gruncie teorii zbiorów rozmytych *fuzzy* są to tzw. zmienne lingwistyczne, czyli wielkości jakościowe, które dopuszczają pewne niejednoznaczności i ograniczoną precyzję ich wyrażania. Efektem działania sterowników *FLC* jest zawsze liczba rzeczywista \mathfrak{R}^+ obrazująca szukaną, suboptymalną w sensie wiedzy i kryteriów eksperta, wartość parametru sterującego modelowanym procesem.

5. Wyznaczanie rozmytego ryzyka czasowo-przestrzennego

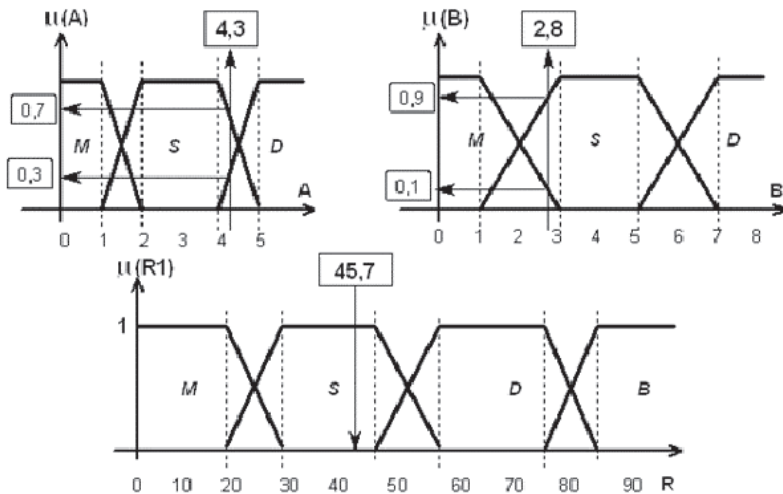
Zgodnie z metodologią budowania systemów rozmytych *FLC* [Mamdani 1977] całą procedurę rozpoczyna blok fuzyfikacji (rozmywania) zmiennych wejściowych, w tym przypadku czasowej terminowości dostaw (A) oraz ich dokładności przestrzennej (B). Procedura ta wymaga zdefiniowania odpowiednich zmiennych lingwistycznych A i B oraz przypisanych im zbiorów rozmytych wraz z odpowiednimi termami. Parametry te posłużą do wyznaczenia szczegółowych funkcji przynależności zmiennych lingwistycznych A i B do właściwych zbiorów rozmytych. Wymagane założenia wstępne procedury *Fuzzy* dla wyznaczenia ryzyka czasowo-przestrzennego $FLC(R1)$ zostały przedstawione w tabeli 3, bazującej na przykładowych danych modelowych.

Tabela 3. Charakterystyka wejściowych/wyjściowych zmiennych lingwistycznych modelu $FLC(R1)$

Nazwa zmiennej	Wartość rozmyta zmiennej lingwistycznej	Zakres zmienności zmiennej lingwistycznej
A – czasowa terminowość dostaw (godz.)	Duża	$A \leq 2$
	Średnia	$1 \leq A \leq 5$
	Mała	$A \geq 4$
B – przestrzenna dokładność dostaw (km)	Duża	$B \leq 3$
	Średnia	$2 \leq B \leq 10$
	Mała	$B \geq 8$
R1 – ryzyko czasowo-przestrzenne	Małe	$R1 \leq 30$
	Średnie	$20 \leq R1 \leq 60$
	Duże	$50 \leq R1 \leq 90$
	Bardzo duże	$R1 \geq 80$

Źródło: Opracowanie własne.

Graficzne zobrazowanie wejściowych zmiennych lingwistycznych A i B oraz odpowiadających im zbiorów rozmytych wraz z odpowiednimi wartościami funkcji przynależności $\mu_A(4,3)$ i $\mu_B(2,8)$ przedstawia rysunek 3.



Rysunek 3. Proces rozmywania przykładowych wartości ostrych A(4,3) i B(2,8) oraz struktura zbioru wyjściowego R1

Źródło: Opracowanie własne.

ZałóŜmy, Ŝe według oceny eksperta zmienne wejściowe modelu – czynniki ryzyka przyjmują aktualnie następujące wartości rozmyte: $A = 4,3$, $B = 2,8$. Aby wyznaczyć stopnie przynależności tych wartości do odpowiednich zbiorów rozmytych (term): M – „małe”, S – „średnie”, D – „duŜe” naleŜy skorzystać z analitycznej postaci właściwych funkcji przynależności, w tym przypadku trapezowych. Graficzna interpretacja tych zbiorów i przypisanych im funkcji przynależności została przedstawiona na rysunku 3. Na podstawie przeprowadzonych obliczeń dla przykładowych wartości zmiennych wejściowych $A = 4,3$, $B = 2,8$ uzyskano następujące stopnie przynależności poszczególnych zmiennych rzeczywistych do zbiorów rozmytych – tabela 4:

Tabela 4. Stopnie przynależności przykładowych wartości ostrych do term zbiorów rozmytych A, B

Zbiory rozmyte	Stopnie przynależności		
A – czasowa dostępność dostawy	$\mu_{AM}(4,3)=0$	$\mu_{AS}(4,3)=0,7$	$\mu_{AD}(4,3)=0,3$
B – przestrzenna dostępność dostawy	$\mu_{BM}(2,8)=0,1$	$\mu_{BS}(2,8)=0,9$	$\mu_{BD}(2,8)=0$

Źródło: Opracowanie własne.

Dane zawarte w tabeli 4 można interpretować w sposób następujący. Przykładowo wartości „czasowa dostępność dostawy” $A=2,8$ odpowiada przynależności w stopniu 0,7 do zbioru rozmytego AS – „dostępność średnia” oraz w stopniu 0,3 do zbioru rozmytego AD – „dostępność duża”. Podobnie interpretuje się stopnie przynależności do zbiorów rozmytych dla zmiennej B.

Do wyznaczenia rozmytej wartości ryzyka czasowo-przestrzennego (R1) wykorzystamy schemat wnioskowania oparty na regułach określonych przez eksperta, którego wiedza merytoryczna została implementowana, np. przez inżyniera wiedzy w postaci zestawu reguł logicznych opartych na modelu Mamdaniego. Kompletna baza reguł dla 2 zmiennych A i B przyjmujących 3 możliwe wartości lingwistyczne M – „małe”, S – „średnie”, D – „duże” powinna zawierać łącznie $2^3 = 8$ różnych wariantów decyzyjnych. Według założeń modelu Mamdaniego do dalszych analiz wymagane są tylko tzw. reguły aktywne, co sprawia, że zbiór dopuszczalnych decyzji eksperta zawierać będzie $2^2 = 4$ możliwych permutacji decyzyjnych.

Tabela 5. Baza reguł eksperckich ryzyka czasowo-przestrzennego R1

1.	If	A=AS	and	B=BM	then	R1=R1M
2.	If	A=AS	and	B=BS	then	R1=R1S
3.	If	A=AD	and	B=BM	then	R1=R1S
4.	If	A=AD	and	B=BS	then	R1=R1D

Źródło: Opracowanie własne.

Zgodnie ze schematem Mamdaniego do reguł aktywnych zawartych w tabeli 5 zastosujemy operator rozmyty typu min/max. W tym celu ustalimy minimum ze stopni przynależności poszczególnych przesłanek każdej reguły, co wyraża następujący układ równań logicznych – tabela 6.

Tabela 6. Mechanizm działania operatora min/max na zbiorze reguł logicznych zawartych w tabeli 5

1.	0,7/AS	\wedge	0,1/BM	=	0,1/R1M
2.	0,7/AS	\wedge	0,9/BS	=	0,7/R1S
3.	0,3/AD	\wedge	0,1/BM	=	0,1/R1S
4.	0,3/AD	\wedge	0,9/BS	=	0,3/R1D

Źródło: Opracowanie własne.

Wartości zmiennych lingwistycznych lewej strony układu równań (tabela 6) dotyczą przesłanek zbioru aktywnych reguł logicznych $\{1,2,3,4\}$ połączonych operatorem koniunkcji (*and*). Celem uzyskania rozmytego wyniku wnioskowania na podstawie zbioru reguł $\{1,2,3,4\}$ zastosujemy do tego układu operator min/max, którego działanie obrazuje poniższe wyrażenie:

$$\begin{aligned}
 &0,1/R1M \vee 0,7/R1S \vee 0,1/R1S \vee 0,3/R1D = \\
 &= 0,1/R1M \vee 0,7/R1S \vee 0,3/R1D
 \end{aligned}
 \tag{12}$$

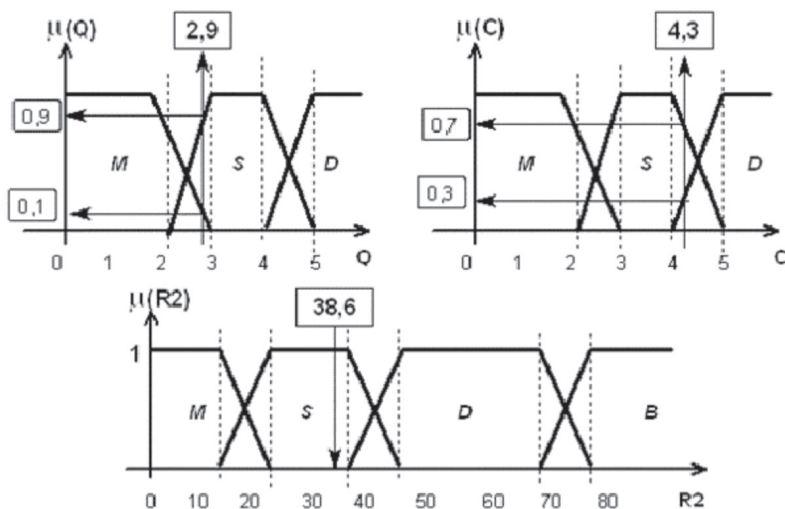
Rozmyte wyniki wnioskowania występujące po prawej stronie wyrażenia (12) określają wartości cząstkowe ryzyka czasowo-przestrzennego $R1$ według opinii eksperta. Operowanie zbiorami rozmytymi i funkcją przynależności jest w praktyce mało komunikatywne, dlatego informacja ta w bloku defuzyfikacji podlega ostrzeniu, czyli transformacji do liczbowej wartości lingwistycznej. Operację defuzyfikacji przeprowadzimy za pomocą popularnej metody środka ciężkości (CoG), wykorzystując jej uproszczoną dyskretną postać:

$$R1 = \frac{0,1 \times \{0,0,20,30\} + 0,7 \times \{20,30,50,60\} + 0,3 \times \{50,60,80,90\}}{0,1 + 0,7 + 0,3} = 45,7$$

Z rysunku 3 odczytujemy, że otrzymana w wyniku defuzyfikacji ostra wartość $R1 = 44,7$ ryzyka czasowo-przestrzennego $R1$ odpowiada pełnej przynależności do zbioru RS – „ryzyko średnie”. Graficzne zobrazowanie rozmytej wartości ryzyka czasowo-przestrzennego ($R1 = 45,7$) przedstawia rysunek 3.

6. Wyznaczanie rozmytego ryzyka jakościowo-ilościowego

Szczegółowy proces obliczeń zostanie pominięty ponieważ identyczne postępowanie, jak zaprezentowane powyżej dla ryzyka czasowo-przestrzennego $R1$ należy przeprowadzić celem wyznaczenia rozmytej wartości ryzyka jakościowo-ilościowego $R2$. Zasadnicze etapy wyznaczenia ryzyka jakościowo-ilościowego $R2$ na podstawie zmiennych rozmytych – jakość dostawy (Q) i kompletność dostawy (C) zostały przedstawione poniżej, a końcowy wynik przedstawia rysunek 4.



Rysunek 4. Proces rozmywania przykładowych wartości ostrych $Q(2,9)$ i $C(4,3)$ oraz struktura zbioru ryzyko jakościowo-ilościowe $R2$

Źródło: Opracowanie własne.

Tabela 7. Charakterystyka zmiennych lingwistycznych modelu FLC(R2)

Nazwa zmiennej	Wartość rozmyta zmiennej lingwistycznej	Zakres zmienności zmiennej lingwistycznej
Q – jakość dostawy (ocena)	Niska	$Q \leq 3$
	Średnia	$2 \leq Q \leq 5$
	Duża	$Q \geq 4$
C – kompletność dostawy (ocena)	Niska	$C \leq 3$
	Średnia	$2 \leq C \leq 5$
	Duża	$C \geq 4$
Ryzyko jakościowo-ilościowe (R2)	Małe	$R2 \leq 25$
	Średnie	$15 \leq R2 \leq 50$
	Duże	$40 \leq R2 \leq 85$
	Bardzo duże	$R2 \geq 75$

Źródło: Opracowanie własne.

Tabela 8. Stopnie przynależności przykładowych wartości ostrych do term zbiorów rozmytych Q, C

Zbiory rozmyte	Stopnie przynależności		
Q – jakość dostawy	$\mu_{QM}(2,9)=0,1$	$\mu_{QS}(2,9)=0,9$	$\mu_{QD}(2,9)=0$
C – kompletność dostawy	$\mu_{CM}(4,3)=0$	$\mu_{CS}(4,3)=0,7$	$\mu_{CD}(4,3)=0,3$

Źródło: Opracowanie własne.

Tabela 9. Baza reguł eksperckich wyznaczania ryzyka jakościowo-ilościowego

1.	If	$Q=QM$	and	$C=CS$	then	$R2=R2M$
2.	If	$Q=QM$	and	$C=CD$	then	$R2=R2S$
3.	If	$Q=QS$	and	$C=CS$	then	$R2=R2S$
4.	If	$Q=QS$	and	$C=CD$	then	$R2=R2D$

Źródło: Opracowanie własne.

Tabela 10. Mechanizm działania operatora min/max na zbiorze reguł logicznych zawartych w tabeli 9

1.	$0,1/QM$	\wedge	$0,7/CS$	$=$	$0,1/R2M$
2.	$0,1/QM$	\wedge	$0,3/CD$	$=$	$0,1/R2S$
3.	$0,9/QS$	\wedge	$0,7/CS$	$=$	$0,7/R2S$
4.	$0,9/QS$	\wedge	$0,3/CD$	$=$	$0,3/R2D$

Źródło: Opracowanie własne.

$$\begin{aligned}
 &0,1/R2M \vee 0,1/R2S \vee 0,7/R2S \vee 0,3/R2D = \\
 &= 0,1/R2M \vee 0,7/R2S \vee 0,3/R2D
 \end{aligned}
 \tag{13}$$

$$R_2 = \frac{0,1 \times \{0,0,15,20\} + 0,7 \times \{15,25,40,50\} + 0,3 \times \{40,50,75,85\}}{0,1 + 0,7 + 0,3} = 38,6$$

W świetle przeprowadzonych badań – zgodnie z ostatnim wyrażeniem szukana wartość ryzyka jakościowo-ilościowego R_2 w przyjętym zakresie zmienności (tabela 7) wynosi 38,6. Graficzne zobrazowanie rozmytej wartości ryzyka jakościowo-ilościowego ($R_2 = 38,6$) przedstawia rysunek 4.

7. Wyznaczanie ryzyka logistycznego *Just in Time*

Jak wynika z wyrażenia (10) końcowe ryzyko logistyczne *Just in Time* jest złożoną funkcją trzech argumentów, z których dwa R_1 i R_2 są efektem modelowania rozmytego:

$$(R_{jIT} \equiv R_3) = f(R_1, R_2, R_3) \rightarrow FLC(R_1) \cup FLC(R_2) \cup R\$ \quad (14)$$

gdzie:

$FLC(R_1)$ – rozmyte ryzyko czasowo-przestrzenne,

$FLC(R_2)$ – rozmyte ryzyko jakościowo-ilościowe,

$R\$$ – ryzyko obliczeniowe ceny rynkowej.

Szukana końcowa wartość ryzyka logistycznego *Just in Time* (14), będąca superpozycją ryzyka czasowo-przestrzennego (R_1), ryzyka jakościowo-ilościowego (R_2) i ryzyka ceny rynkowej ($R\$$), będzie wyznaczona za pomocą sterownika $FLC(R_3)$. Budowany w tym celu sterownik rozmyty $FLC(R_3)$ posiada 3 sygnały wejściowe oraz jeden szukany sygnał wyjściowy. Rozmyte wartości ryzyka czasowo-przestrzennego (R_1) i jakościowo-ilościowego (R_2) zostały wyznaczone analitycznie, jako produkty odpowiednich modeli $FLC(R_1)$ i $FLC(R_2)$, natomiast ryzyko ceny rynkowej $R\$$ przyjmujemy jako pewną wartość heurystyczną, zadaną przez eksperta. Dla uproszczenia analiz przyjmujemy trójkątne terminy dla wszystkich rozmytych zbiorów wejściowych R_1 , R_2 i $R\$$ oraz wyjściowego R_3 o identycznych rozkładach parametrów lingwistycznych, co obrazuje tabela 11.

Tabela 11. Charakterystyka wejściowych/wyjściowych zmiennych lingwistycznych modelu $FLC(R_3)$

Nazwa zmiennej	Wartość zmiennej lingwistycznej	Zakres zmienności zmiennej lingwistycznej
Ryzyko R_1, R_2, R, R_3$	Małe	$RX \leq 40$
	Średnie	$20 \leq RX \leq 60$
	Duże	$40 \leq RX \leq 80$
	Bardzo duże	$RX \geq 60$

Źródło: Opracowanie własne.

Dla wyznaczonych wartości zmiennych wejściowych ryzyka $R_1 = 45,7$ i $R_2 = 38,6$ oraz arbitralnie przyjętej wartości $R\$ = 67,3$ na podstawie

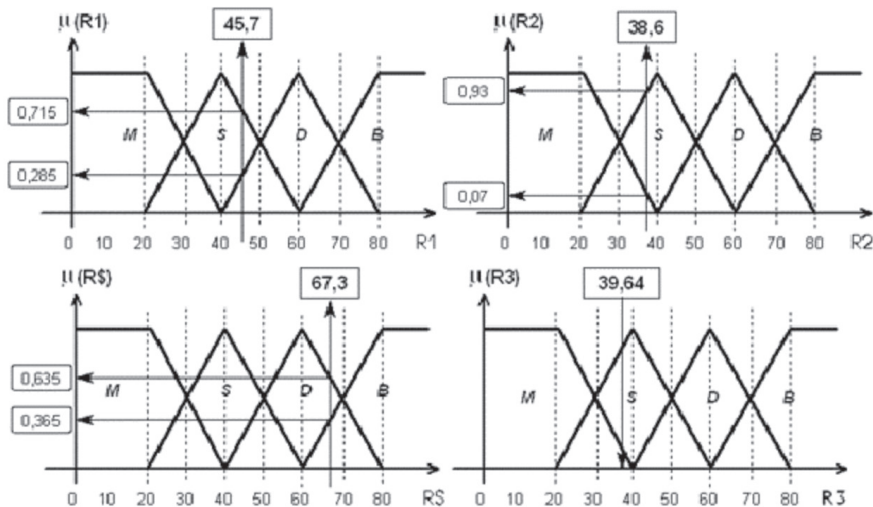
zadeklarowanych w tabeli 11 parametrów lingwistycznych uzyskano stopnie przynależności przedstawione w tabeli 12, co dodatkowo zostało graficznie zobrazowane na rysunku 5.

Tabela 12. Stopnie przynależności wartości ostrych $R1 = 47,5$, $R2 = 38,6$, $R\$ = 67,3$ do zbiorów rozmytych $R1$, $R2$, $R\$$

Termy zbiorów rozmytych	Stopnie przynależności		
	$R1$ – ryzyko czasowo-przestrzenne	$R2$ – ryzyko jakościowo-ilościowe	$R\$$ -ryzyko ceny rynkowej
Małe	$\mu_{R1M}(45,7)=0$	$\mu_{R2M}(38,6)=0,07$	$\mu_{R\$M}(67,3)=0$
Średnie	$\mu_{R1S}(45,7)=0,72$	$\mu_{R2S}(38,6)=0,93$	$\mu_{R\$S}(67,3)=0$
Duże	$\mu_{R1D}(45,7)=0,28$	$\mu_{R2D}(38,6)=0$	$\mu_{R\$D}(67,3)=0,64$
Bardzo duże	$\mu_{R1B}(45,7)=0$	$\mu_{R2B}(38,6)=0$	$\mu_{R\$B}(67,3)=0,36$

Źródło: Opracowanie własne.

Graficzne zobrazowanie wejściowych zmiennych lingwistycznych $R1$, $R2$ i $R\$$ oraz odpowiadających im zbiorów rozmytych wraz z odpowiednimi wartościami funkcji przynależności $\mu_{R1}(45,7)$, $\mu_{R2}(38,6)$ oraz $\mu_{R\$}(67,3)$ przedstawiono na rysunku 5.



Rysunek 5. Proces rozmywania przykładowych wartości ostrych $R1(45,7)$, $R2(38,6)$, $R\$(67,3)$ oraz wartość ryzyka $R3$

Źródło: Opracowanie własne.

Do wyznaczenia rozmytej wartości ryzyka logistycznego *Just in Time* ($R3$) wykorzystany jest schemat wnioskowania oparty na regułach określonych przez eksperta, którego wiedza merytoryczna została implementowana w postaci zestawu reguł logicznych zawartych w tabeli 13. Spośród szerokiego zbioru teoretycznie

możliwych decyzji eksperckich rzędu $4^3 = 84$ (dla 3 zmiennych wejściowych $R1, R2, R\$$ przyjmujących cztery możliwe wartości lingwistyczne M – „małe”, S – „średnie”, D – „duże”, B – „bardzo duże”). Do dalszych analiz wymagane są tylko tzw. reguły aktywne, co ogranicza jego liczność do $2^3 = 8$ możliwych permutacji decyzyjnych (tabela 13).

Tabela 13. Baza aktywnych reguł eksperckich wyznaczania ryzyka logistycznego *Just in Time* (R3)

1.	If	$R1=R1S$	and	$R2=R2M$	and	$R\$=R\D	then	$R3=R3M$
2.	If	$R1=R1S$	and	$R2=R2M$	and	$R\$=R\B	then	$R3=R3M$
3.	If	$R1=R1S$	and	$R2=R2S$	and	$R\$=R\D	then	$R3=R3S$
4.	If	$R1=R1S$	and	$R2=R2S$	and	$R\$=R\B	then	$R3=R3S$
5.	If	$R1=R1D$	and	$R2=R2M$	and	$R\$=R\D	then	$R3=R3S$
6.	If	$R1=R1D$	and	$R2=R2M$	and	$R\$=R\B	then	$R3=R3S$
7.	If	$R1=R1D$	and	$R2=R2S$	and	$R\$=R\D	then	$R3=R3D$
8.	If	$R1=R1D$	and	$R2=R2S$	and	$R\$=R\B	then	$R3=R3D$

Źródło: Opracowanie własne.

Zgodnie ze schematem Mamdaniego do powyższych reguł aktywnych (tabela 13) zastosujemy operator rozmyty typu min/max, co generuje następujący układ równań logicznych (tabela 14):

Tabela 14. Mechanizm działania operatora min/max na zbiorze reguł logicznych zawartych w tabeli 13

1.	0,72/R1S	\wedge	0,07/R2M	\wedge	0,36/R\$S	=	0,07/R3M
2.	0,72/R1S	\wedge	0,07/R2M	\wedge	0,64/R\$D	=	0,07/R3M
3.	0,72/R1S	\wedge	0,93/R2S	\wedge	0,36/R\$S	=	0,36/R3S
4.	0,72/R1S	\wedge	0,93/R2S	\wedge	0,64/R\$D	=	0,64/R3S
5.	0,28/R1D	\wedge	0,07/R2M	\wedge	0,36/R\$S	=	0,07/R3S
6.	0,28/R1D	\wedge	0,07/R2M	\wedge	0,64/R\$D	=	0,07/R3S
7.	0,28/R1D	\wedge	0,93/R2S	\wedge	0,36/R\$S	=	0,28/R3D
8.	0,28/R1D	\wedge	0,93/R2S	\wedge	0,64/R\$D	=	0,28/R3D

Źródło: Opracowanie własne.

Celem uzyskania rozmytego wyniku wnioskowania pochodzącego od reguł logicznych zawartych w tabeli 14 zastosujemy operator min/max, którego działanie obrazuje następujące wyrażenie:

$$0,07/R3M \vee 0,07/R3M \vee 0,36/R3S \vee 0,64/R3S \vee 0,07/R3S \vee 0,07/R3S \vee \quad (16)$$

$$\vee 0,28/R3D \vee 0,28/R3D = 0,07/R3M \vee 0,64/R3S \vee 0,28/R3D \quad (15)$$

Rozmyte wyniki wnioskowania, występujące po prawej stronie równania (15), określają wartości ryzyka logistycznego *Just in Time* wynikającego z opinii eksperta. W praktyce operowanie 3 zbiorami rozmytymi i opisaną na ich podstawie

funkcją przynależności jest mało komunikatywne, dlatego informacja ta w bloku defuzyfikacji podlega ostrzeniu, czyli transformacji do liczbowej wartości lingwistycznej. Operację defuzyfikacji przeprowadzimy za pomocą popularnej metody środka ciężkości (CoG), przyjmując jej uproszczoną dyskretną formułę, co formalnie zapiszemy jako:

$$R3 = \frac{0,07 \times \{0,0,20,40\} + 0,64 \times \{20,40,60\} + 0,28 \times \{40,60,80\}}{0,07 + 0,64 + 0,28} = 39,64$$

Lingwistyczna wartość ryzyka logistycznego *Just in Time FLC*(R3) wyznaczona na podstawie przyjętych założeń (tabela 11) i bazy wiedzy eksperckiej (tabela 13) wynosi $R3 = 39,64$, co stanowi rozwiązanie badanego problemu. Graficzne zobrazowanie rozmytej wartości ryzyka logistycznego *Just in Time* ($R3 = 39,64$) przedstawiono na rysunku 5.

Podsumowanie

Przeprowadzone rozważania, po pierwsze, potwierdzają dużą użyteczność teorii zbiorów rozmytych *Fuzzy Sets* do rozwiązywania złożonych problemów dotyczących m.in. podejmowania efektywnych i bezpiecznych decyzji logistycznych, a po drugie, pozwalają na sformułowanie następujących wniosków końcowych:

1. Naturalna losowość procesów logistycznych, wynikająca z ich wielkiej dynamiki czasowo-przestrzennej i wysoce konkurencyjnego środowiska biznesowego sprawia, że ryzyko strumieni logistycznych jest szczególnie duże i dlatego powinno być przedmiotem profesjonalnych analiz i kompleksowych działań menedżerskich, wykorzystujących osiągnięcia współczesnej nauki i technologii.
2. Szczególnie znaczące ryzyko jest związane z biznesową implementacją logistycznej zasady *Just in Time*, będącej podstawą funkcjonowania m.in. współczesnych łańcuchów dostaw. Kompleksowa ocena wielokryterialnego ryzyka logistycznego towarzyszącego klasycznym standardom *Just in Time*, takim jak: właściwy czas, miejsce, asortyment, jakość, ilość oraz cena jest procedurą trudną i skomplikowaną, wymagającą efektywnych metod badawczych.
3. Dla potrzeb aplikowanej teorii *Fuzzy* ryzyko logistyczne *Just in Time* zostało przedstawione w postaci pewnej formuły strukturalno-logicznej, jako funkcjonal trzech kategorii ryzyka: czasowo-przestrzennego, jakościowo-ilościowego i ryzyka ceny rynkowej. Wypadkowe ryzyko logistyczne *Just in Time* zostało wyznaczone rekurencyjnie w kategoriach zbioru rozmytego, przy aktywnym wykorzystaniu zmiennych lingwistycznych, eksperckiej bazy wiedzy i mechanizmów sterowników rozmytych Mamdaniego.
4. Najwyższa elastyczność i uniwersalność teorii i aplikacji *Fuzzy* wynika z faktu, że jej praktyczne stosowanie nie wymaga uprzedniego modelowania badanego procesu czy systemu za pomocą skomplikowanych metod matematycz-

nych, ani innych badań eksperymentalnych. Aby wykorzystać aparat *Fuzzy* wystarczy zdroworozsądkowy model logiczny i wiedza ekspercka wyrażona w postaci zbioru zdań (reguł) logicznych, opisujących w kategoriach rozmytych funkcjonowanie badanego systemu.

5. Duża pracochłonność żmudnych procedur obliczeniowych jest poważną barierą szerszego stosowania modelowania rozmytego *Fuzzy* do bardziej powszechnego wykorzystania w praktyce biznesowej. Dlatego istotnym wspomaganie dla tej procedury jest komputerowy pakiet *Fuzzy Logic Toolbox* znajdujący się m.in. w inżynierskim systemie MatLab firmy MathWorks, który pozwala na efektywne prowadzenie wielowariantowych badań do minimum ograniczając wszelkie operacje analityczne i czynności rachunkowe.

Kończącą reasumpcję można odnieść do stwierdzenia, że zaproponowane w pracy podejście do oceny ryzyka *Just in Time* za pomocą teorii zbiorów rozmytych *Fuzzy Sets* jest przedsięwzięciem eksperymentalnym i nowatorskim, a przeprowadzone badania potwierdziły przydatność narzędzi *Fuzzy* do modelowania i rozwiązywania praktycznych problemów związanych z oceną ryzyka *Just in Time*. Użytkowe modele bazujące na rozmytych sterownikach Mamdaniego FLC stanowią wysoce sprawne narzędzie aplikacji teorii zbiorów rozmytych A.L. Zadeha nie tylko w preferowanych dotychczas zastosowaniach technicznych, ale także w obszarze teorii podejmowania decyzji, zarządzania biznesowego, w szczególności w analizie stochastycznego ryzyka gospodarczego, operacyjnego czy logistycznego.

Literatura

- Abt S., 1998, *Zarządzanie logistyczne w przedsiębiorstwie*, PWE, Warszawa.
- Bak D., 1992, *Rozwój i rola logistyki w Wielkiej Brytanii*, „Problemy Magazynowania i Transportu” Zeszyt Specjalny.
- Coyle J.J., Bardi E.J., Langley C. J., 2002, *Zarządzanie logistyczne*, PWE, Warszawa.
- Driakov D., Hellendoorn H., Reinfrank M., 1996, *Wprowadzenie do sterowania rozmytego*, WNT, Warszawa.
- Ficoń K., 2013a, *Międzynarodowe standardy zarządzania ryzykiem*, „Kwartalnik Bellona”, nr 3.
- Ficoń K., 2013b, *Sztuczna inteligencja. Nie tylko dla humanistów*, BEL Studio, Warszawa.
- Ficoń K., 2013c, *Źródła i kategorie ryzyka logistycznego występujące w strukturze logistycznych łańcuchów dostaw*, „ZN WSAiB”, nr 20.
- Ficoń K., 2014a, *Modeling safe speed for the RMS ‚Titanic’ in an ice field with the Mamdani multi-level fuzzy controller*, „ZN AMW”, nr 2.
- Ficoń K., 2014b, *Zarządzanie zintegrowanym ryzykiem podstawą ładu korporacyjnego*, (w:) *Ryzyko w działalności gospodarczej przedsiębiorstw*, red. K. Kreft, D. Wach, J. Winiarski, Uniwersytet Gdański Instytut Transportu i Handlu Morskiego, Gdańsk.
- Gołomska E., 1994, *Logistyka jako zarządzanie łańcuchem dostaw*, AE Poznań.
- Gołomska E., Tyc-Szmił K., Brauer J., 2008, *Logistyka w usługach*, PWN, Warszawa.
- Kacprzak J., 2001, *Wieloetapowe sterowanie rozmyte*, WNT, Warszawa.

- Kaczmarek T.T., 2005, *Ryzyko i zarządzanie ryzykiem. Ujęcie interdyscyplinarne*, Difin, Warszawa.
- Kulińska E., 2011, *Aksjologiczny wymiar zarządzania ryzykiem procesów logistycznych. Modele i eksperymenty ekonomiczne*. PO, Opole.
- Kulińska E., 2011, *Metody analizy ryzyka w procesach logistycznych*, „Logistyka”, nr 2.
- Łachwa A., 2001, *Rozmyty świat zbiorów, liczb, relacji, faktów, reguł i decyzji*, AOW Exit, Warszawa.
- Machowiak W., 2009, *Ryzyko w logistyce*, (w:) *Logistyka*, red. D. Kisperska-Moroń, S. Krzyżaniak, Biblioteka Logistyka, Poznań.
- Mamdani E.H., 1977, *Advances in the linguistic synthesis of fuzzy controllers*, „International Journal of Man-Machine Studies”.
- Mamdani E.H., 1976, *Applications of fuzzy algorithms for the control of a simple dynamic plant*. „Proceedings of IEE”, nr 121.
- Milewska B., Milewski D., 2001, *Just in Time*, WPSB, Kraków.
- Penc J., 1997, *Leksykon biznesu*, AW Placet, Warszawa.
- Pfohl H.Ch., 1998, *Systemy logistyczne. Podstawy organizacji i zarządzania*, ILiM, Poznań.
- Piegat A., 2003, *Modelowanie i sterowanie rozmyte*, AOW EXIT, Warszawa.
- Rasiowa H., 1979, *Wstęp do matematyki współczesnej*, PWN, Warszawa.
- Rogowska D., 2011, *Zastosowanie logiki rozmytej w zarządzaniu zapasami*, „Logistyka”, nr 5.
- Rutkowski L., 2006, *Metody i techniki sztucznej inteligencji*, PWN, Warszawa.
- Wieteska G., 2011, *Zarządzanie ryzykiem w łańcuchu dostaw na rynku B2B*, Difin, Warszawa.
- Witkowski J., 1999, *Logistyka firm japońskich*, AE, Wrocław.
- Zadeh L.A., 1968, *Fuzzy algorithm*, „Information and Control”, nr 12.
- Zadeh L.A., 1975, *Fuzzy logic and approximate reasoning*, „Synthese”, nr 30.
- Zadeh L.A., 1965, *Fuzzy sets*, „Information and Control”, nr 8.
- Zarządzanie ryzykiem*, Raport specjalny, 2016, POLRISK, www.rudnicki.com.pl (dostęp: 15.10.2016).

APPOINTING THE LOGISTIC JUST IN TIME RISK WITH THE THEORY OF FUZZY SETS

SUMMARY

At the work a conception of using the theory of fuzzy sets was presented. A. Zadeha administered in the structure of so-called drivers washed away E. Mamdaniego of the risk for appointing integrated of the logistic Just principle in Time. For that purpose Just risk in Time decomposed to three fragmentary risks concerning: of the temporary-spatial risk, the quality-quantitative risk and the risk of the market price. For distinguished categories of fragmentary risks defined appropriate changeable fuzzy sets linguistic and suiting them stayed (water heaters). Based on mechanisms of blurred Mamdaniego drivers they appointed current for made assumptions value of the risk of the logistic principle Just in Time.

Keywords: risk, just in time, fuzzy sets.