

## Zastosowanie wybranych wskaźników analizy technicznej w algorytmicznym systemie transakcyjnym

Krzysztof Kaczmarek\*

Sylwester Gołda\*\*

**Streszczenie:** Rozwój technik teleinformatycznych, w tym powszechny dostęp do internetu, otworzył inwestorom indywidualnym dostęp do rynku walutowego. Obecnie brokerzy rynku Forex udostępniają nowoczesne i rozbudowane platformy transakcyjne zawierające wiele praktycznych narzędzi, np. moduły umożliwiające handel w trybie automatycznym za pośrednictwem własnych strategii transakcyjnych.

W artykule przedstawiono algorytm oraz wyniki badań skuteczności automatycznego systemu transakcyjnego opracowanego do funkcjonowania na rynku walutowym Forex. Zaproponowane podejście jest oparte na analizie wskazań poszczególnych wyselekcjonowanych wskaźników analizy technicznej z zastosowaniem metod logiki rozmytej. Optymalizację oraz testy skonstruowanej strategii transakcyjnej przeprowadzono na archiwalnych danych notowań wybranych par walutowych.

**Słowa kluczowe:** Forex, automatyczny system transakcyjny, logika rozmyta, optymalizacja

### Wprowadzenie

Na początku lat siedemdziesiątych XX wieku załamał się sztywny system wymiany dolara na złoto. Piętnastego sierpnia 1971 roku prezydent USA Richard Nixon zniósł ostatecznie wymiennalność dolara na złoto i tym samym umożliwił swobodny przepływ walut pomiędzy krajami. Ta decyzja odegrała znaczącą rolę w procesie kształtowania się rynku wymiany walutowej i w dalszym jego rozwoju. Forex w krótkim czasie stał się najszybciej rozwijającym się rynkiem finansowym na świecie, na którym m.in. banki centralne, korporacje międzynarodowe i inwestorzy instytucjonalni z całego świata przeprowadzają operacje wymiany walut. Wraz z rozwojem technologicznym pojawiały się na nim coraz nowocześniejsze systemy informatyczne. Upowszechnienie się internetu sprawiło, że również inwestorzy indywidualni uzyskali dostęp do rynku Forex za pośrednictwem narzędzi oferowanych przez poszczególnych pośredników walutowych (np. aplikacja MetaTrader<sup>1</sup>). Rosnąca konkurencja na rynku brokerów doprowadziła do liberalizacji zasad dostępu do rynku (m.in. zmniejsz-

\* dr inż. Krzysztof Kaczmarek, Politechnika Częstochowska, e-mail: krzysztof.kaczmarek@icis.pcz.pl

\*\* mgr inż. Sylwester Gołda, Politechnika Częstochowska, e-mail: sylwester.golda@icis.pcz.pl

<sup>1</sup> Platforma handlowa do inwestowania m.in. na rynku Forex umożliwiająca składanie zleceń i zawieranie transakcji za pośrednictwem internetu.

szenie minimalnego depozytu, minimalnej wielkości pozycji, spreadu), co w połączeniu z ogromną płynnością (realizacja zleceń sprzedaży lub kupna danej waluty w większości przypadków następuje niemal natychmiastowo) spowodowało dużą popularyzację tej formy inwestowania. W tych okolicznościach na rynku ukształtowała się nowa strategia inwestowania zakładająca otwieranie dużej liczby pozycji krótkookresowych. Inwestorzy pracujący w ten sposób starają się zarabiać na pojawiających się mikrotrendach trwających od kilku minut do kilkunastu godzin. W takim sposobie inwestowania niebagatelną rolę odgrywa umiejętność szybkiego podejmowania decyzji. Dlatego większość inwestorów wykorzystuje specjalnie opracowane aplikacje handlowe (w środowisku MetaTrader stosuje się „języki programowania” MQL4 i MQL5), które funkcjonują w trybach automatycznych lub półautomatycznych (rola inwestora sprowadza się do potwierdzania transakcji). W takim przypadku o końcowym sukcesie decyduje skuteczność wykorzystywanego algorytmu transakcyjnego.

W literaturze znajduje się wiele prac przedstawiających metody wykorzystania zaawansowanych metod matematycznych w dziedzinie szacowania i prognozowania kursu danego instrumentu finansowego (np. akcji, pary walutowej). Na przykład w pracy Kuo i in. (2001) do przewidywania cen instrumentów finansowych użyto technik analizy szeregów czasowych i modeli regresji wielokrotnej oraz omówiono wpływ wydarzeń makroekonomicznych i politycznych na kształtowanie się wartości kursu. Pod koniec XX wieku dużą popularność zyskały metody oparte na teorii zbiorów przybliżonych (Pawlak 1982). Metody otrzymanie skutecznych reguł handlu na podstawie tej teorii zostały zaprezentowane m.in. w pracach Shena, Loh (2004), Wanga (2003), Sevastjanova (2007), Dymovej i in. (2010). Jednak już w pracach Baby i Kozaki (1992), Mahfouda i Maniego (1996), Mehty i Bhattacharyy (2004) udowodniono, że w dalszym ciągu istnieją problemy ze zwiększeniem dokładności przewidywania cen instrumentów finansowych. Ponadto w pracy Tsumoto (2003) wykazano, że jednym z najważniejszych problemów metod generowania reguł jest to, że nie mogą one wyodrębnić reguł akceptowanych przez ekspertów, którzy biorą udział w procesie decyzyjnym. To stwierdzenie stanowiło genezę powstania metod zaprezentowanych w pracach Kaczmarka (2010, 2011, 2012), Sevastjanova i Dymovej (2009), Sevastjanova i in. (2012), w ramach których założono, że wiedza nagromadzona i syntezowana przez grupy inwestorów (maklerów, daytraderów) w formie znanych zasad handlu w połączeniu z zastosowaniem metod logiki rozmytej w analizie wartości uzyskiwanych przez poszczególne wyselekcjonowane wskaźniki analizy technicznej może stanowić odpowiednie podstawy do budowania optymalnych rozmytych systemów eksperckich realizujących handel na rynkach kapitałowych (m.in. na rynku walutowym). Największą wadą powyższych metod jest ich bardzo duża złożoność obliczeniowa, co jest równoznaczne z długotrwałym procesem optymalizacji<sup>2</sup> zastosowanych parametrów. Niniejszy artykuł stanowi kontynuację badań i dalsze rozwinięcie problematyki przedstawionej w artykułach Kaczmarka (2010), Sevastjanova i in. (2012). W pracy zaproponowano podejście o zmniejszonej złożoności obliczeniowej funkcjonujące na podstawie dwóch znanych zaadaptowanych do proponowanej metody wskaźników (wstęga Bollingera i wykładnicza średnia ruchoma) oraz dwóch nowo

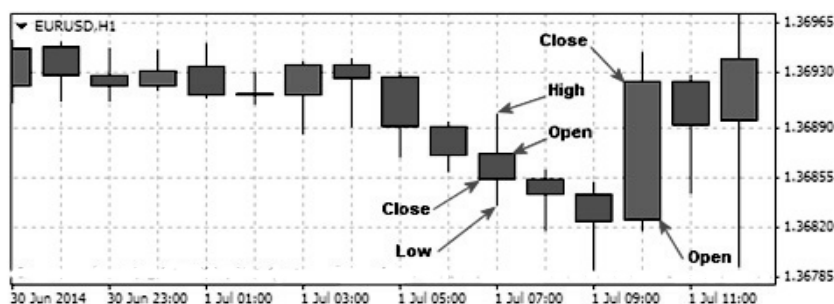
<sup>2</sup> Proces wyznaczania najlepszego rozwiązania z punktu widzenia określonego kryterium.

opracowanych wskaźników analizy technicznej. Konstrukcja opracowanej metody umożliwia jej zaadaptowanie do warunków funkcjonowania na różnych zinformatyзовanych rynkach papierów wartościowych takich jak m.in. Forex, NYSE<sup>3</sup>, NASDAQ<sup>4</sup>.

W punkcie 1 opisano zastosowane w prezentowanym modelu wskaźniki analizy technicznej wraz z ich interpretacją w ramach logiki rozmytej (Zadeh 1965). W punkcie 2 zawarto informacje na temat wielokryterialnego podejmowania decyzji w warunkach niepewności. Wyniki badań skuteczności opracowanej strategii transakcyjnej przedstawiono w punkcie 3.

## 1. Wskaźniki analizy technicznej

Analiza techniczna to zbiór metod i technik mających na celu prognozowanie przyszłych trendów cenowych. Wiele stosowanych rozwiązań bazuje na analizie danych notowań archiwalnych. Dane rynkowe zazwyczaj są prezentowane w formie zbiorczej (interwałowej) pod postacią wykresów słupkowych i świecowych (rysunek 1). Taka forma jest bardzo praktyczna, ponieważ inwestorzy (a zwłaszcza systemy transakcyjne) poza aktualnymi cenami ofert kupna (*Bid*) i sprzedaży (*Ask*) mają również bezpośredni dostęp do informacji o zakresie zmienności cen w wybranym interwale czasowym. Większość wskaźników analizy technicznej funkcjonuje na podstawie danych ujętych w formie interwałowej. W zależności od rodzaju wskaźnika oraz preferencji inwestora do obliczeń są wykorzystywane kolejne ceny otwarć (*Open*), ceny zamknięć (*Close*), najwyższe (*High*) lub najniższe ceny (*Low*) odnotowane w danym przedziale czasowym (często wykorzystywane interwały to *30M* – 30 minut, *1H* – 1 godzina i *4H* – 4 godziny). Ponadto często stosowanym uzupełnieniem danych cenowych jest wolumen transakcji, czyli liczba zrealizowanych transakcji w danym interwale.



**Rysunek 1.** Wykres świecowy notowań pary walutowej EUR/USD w interwale jednogodzinnym  
Źródło: opracowanie własne.

<sup>3</sup> Nowojorska Giełda Papierów Wartościowych.

<sup>4</sup> Pozagiełdowy, regulowany rynek akcji w Stanach Zjednoczonych.

W praktyce inwestor w sposób intuicyjny przekształca zachodzące zmiany wartości wskaźników w oceny lingwistyczne, tzn. dokonuje oceny wartości poszczególnych wskaźników jako małe, średnie i mocne przesłanki do podjęcia określonej decyzji inwestycyjnej. W celu uwzględnienia tego sposobu rozumowania w podjęciu decyzji transakcyjnych do określenia rzeczywistej wartości informacyjnej zastosowanych wskaźników użyto funkcji przynależności. Funkcje te skonstruowano na podstawie metody teorii zbiorów rozmytych. Stanowią one odwzorowanie wartości poszczególnych wskaźników na wartości z przedziału  $[0,1]$ . Ponieważ w praktyce wartości wskaźników są oceniane przez inwestora w formie lingwistycznej, postanowiono przedstawić je za pomocą trzech ocen lingwistycznych określających poszczególne decyzje transakcyjne: kupuj (*Buy*), sprzedawaj (*Sell*) i czekaj (*Hold*).

Na podstawie obserwacji i przeprowadzonych badań wyselekcjonowano grupę czterech wskaźników analizy technicznej, które za pośrednictwem metod logiki rozmytej zaadaptowano do prezentowanego w niniejszej pracy modelu strategii transakcyjnej.

### 1.1. Wskaźnik *dEMA*

Protoplastą wskaźnika *dEMA* jest wskaźnik *2SMA*, w ramach którego dokonuje się porównania wartości dwóch arytmetycznych średnich kroczących. Sytuację, gdy wartość średniej krótkookresowej jest wyższa od wartości średniej długookresowej, interpretuje się jako przesłankę mówiącą o możliwości pojawienia się (ew. trwania) dłuższego trendu rosnącego (sygnał *Buy*). Następnym odwrotnej sytuacji jest sygnał sprzedaży (*Sell*), natomiast w przypadku gdy wartości średnich są zbliżone, wskazane jest powstrzymanie się od podejmowania decyzji inwestycyjnych (sygnał *Hold*).

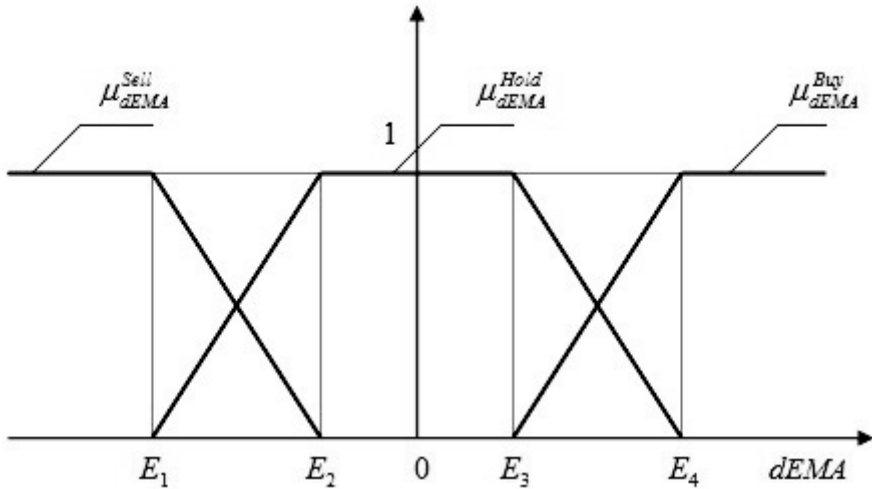
Wskaźnik *dEMA* postanowiono oprzeć na wykładniczej średniej kroczącej (*EMA*), w której największe wagi przypadają najświeższym danym. Wartość wskaźnika *EMA* w ramach  $y$ -ego interwału wylicza się następująco:

$$EMA_t(n) = \frac{C_t + (1-\alpha)C_{t-1} + (1-\alpha)^2C_{t-2} + \dots + (1-\alpha)^nC_{t-n}}{1 + (1-\alpha) + (1-\alpha)^2 + \dots + (1-\alpha)^n}$$

gdzie  $\alpha = \frac{2}{n+1}$ ,  $C_t$ , to wartość ceny zamknięcia  $t$ -ego interwału, a  $n$  to liczba interwałów uwzględnianych w obliczeniach wskaźnika *EMA*.

W celu uzyskania większej elastyczności prezentowanej metody na zmiany powstające na rynku w ramach wskaźnika *dEMA* średnią krótkookresową zastąpiono aktualną ceną rynkową pod postacią średniej ceny liczonej z najlepszych w danej chwili cen kupna (najwyższych – *Bid*) i sprzedaży (najniższych – *Ask*). Wartość wskaźnika w ramach  $t$ -ego interwału wylicza się następująco:

$$dEMA_t(n) = \frac{Bid + Ask}{2} - EMA_{t-1}(n)$$



**Rysunek 2.** Funkcje przynależności sygnałów *Buy*, *Hold* i *Sell* wskaźnika *dEMA*  
 Źródło: opracowanie własne.

Na rysunku 2 przedstawiono trzy funkcje przynależności ( $\mu_{dEMA}^{Buy}, \mu_{dEMA}^{Hold}, \mu_{dEMA}^{Sell}$ ) skonstruowane na podstawie ocen lingwistycznych inwestorów. Indeks dolny *dEMA* oznacza, że funkcja charakteryzuje siłę sygnału związanego ze wskaźnikiem *dEMA*. Indeksy górne *Buy*, *Hold*, *Sell* określają poszczególne możliwe decyzje transakcyjne. Wartości parametrów  $n, E_1, E_2, E_3, E_4$  są ustalane na etapie optymalizacji prezentowanego systemu transakcyjnego z uwzględnieniem następujących założeń:  $n > 1$  i  $E_1 < E_2 \leq 0 \leq E_3 < E_4$ .

Każda decyzja transakcyjna (*Buy*, *Hold*, *Sell*) jest określona przez odpowiadającą jej wartość funkcji przynależności. Wskaźnik *dEMA* wskazuje na daną decyzję transakcyjną, gdy odpowiadająca jej funkcja przynależności jest większa od wartości 0.5, np. sygnał kupna (*Buy*) występuje, gdy  $\mu_{dEMA}^{Buy} > 0.5$ .

## 1.2. Wskaźnik *HBar*

Wskaźnik *HBar* został opracowany w celu uzyskania narzędzia, które dawałoby możliwość podejmowania decyzji transakcyjnych na podstawie analizy wykresu świecowego, a w szczególności na podstawie analizy formy ukształtowania się ostatniej pełnej świecy (interwał z okresu  $t-1$ ) na tle świec otrzymanych na przestrzeni  $m$  wcześniejszych interwałów.

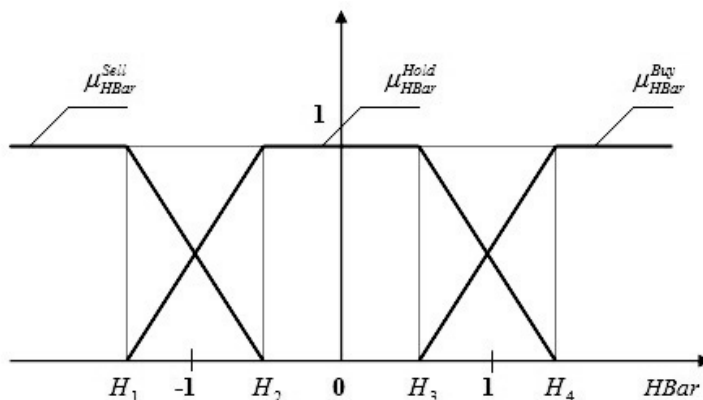
Wartość wskaźnika  $HBar$  w  $t$ -ym okresie oblicza się następująco:

$$HBar_t(m) = \frac{High_{t-1} - Low_{t-1}}{\frac{1}{m} \sum_{j=t-1-m}^{t-2} (High_j - Low_j)} * wH_{t-1}, \quad wH_t = \sqrt{\frac{|Close_t - Open_t|}{High_t - Low_t}},$$

jeżeli  $Close_{t-1} < Open_{t-1}$ , to  $HBar_t(m) = -HBar_t(m)$ ,

jeżeli  $High_t = Low_t$ , to  $HBar_t(m) = 0$ ,

gdzie  $m$  to liczba interwałów uwzględnianych w obliczeniach wartości wskaźnika  $HBar$ .



**Rysunek 3.** Funkcje przynależności sygnałów *Buy*, *Hold* i *Sell* wskaźnika  $HBar$

Źródło: opracowanie własne.

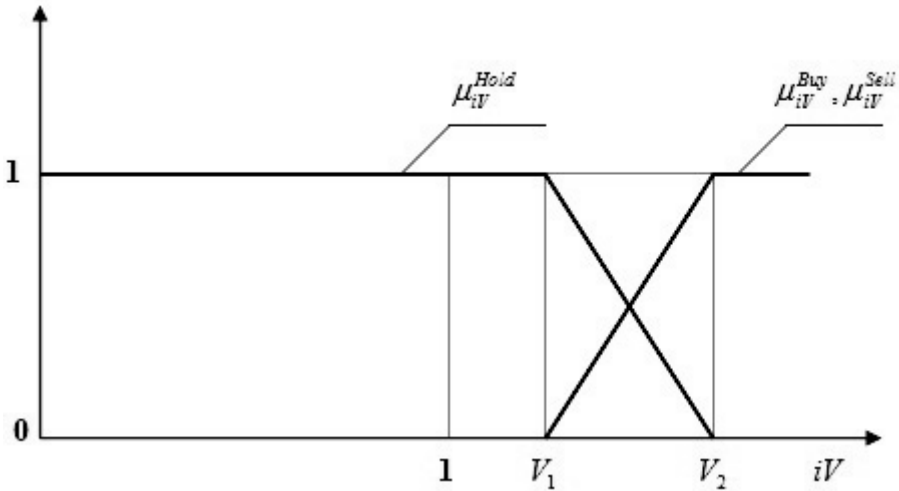
Założono, że w ramach obliczeń wskaźnika  $HBar$  będą uwzględniane dane wyłącznie z pełnych interwałów, dlatego w obliczeniach uwzględnia się okres  $t-1$ . Zastosowanie współczynnika  $wH_t$  ma na celu minimalizację wpływu okresowego chaosu (niezdecydowania inwestorów) pod postacią dużego zakresu zmienności cen ( $High-Low$ ) na tle wartości kursów otwarcia i zamknięcia ( $|Close-Open|$ ) przypadających na ostatni analizowany interwał. W okresie względnej stabilizacji w zakresie zmienności cen danego instrumentu finansowego wskaźnik  $HBar$  osiąga wartości z przedziału  $[-1, 1]$ , co jest utożsamiane z brakiem podejmowania decyzji inwestycyjnych (sygnał *Hold*). W przypadku znaczącego (na tle analizowanych interwałów) wzrostu kursu wskaźnik  $HBar$  osiąga wartości powyżej 1 ( $HBar > 1$ ), a w przypadku analogicznego spadku notowań wartość wskaźnika spada poniżej  $-1$  ( $HBar < -1$ ), co jest utożsamiane kolejno z decyzjami transakcyjnymi kupna (sygnał *Buy*) i sprzedaży (sygnał *Sell*). Na rysunku 3 przedstawiono trzy funkcje przynależności wskaźnika  $HBar$  skonstruowane na podstawie ocen lingwistycznych inwestorów. Wartości parametrów  $m$ ,  $H_1$ ,  $H_2$ ,  $H_3$  i  $H_4$  są ustalane na etapie optymalizacji prezentowanego systemu transakcyjnego z uwzględnieniem następujących założeń:  $m > 1$  i  $H_1 < -1 < H_2 < 0 < H_3 < 1 < H_4$ .

### 1.3. Wskaźnik $iV$

Zakłada się, że jeżeli zmiana cen (wzrostowi lub spadkowi) instrumentu finansowego towarzyszy zwiększony obrót (wolumen), to świadczy, że trwający trend zostanie zachowany w najbliższym okresie i na tej podstawie można podjąć stosowne decyzje transakcyjne. Dlatego w celu uzyskania oceny zaangażowania inwestorów w danym okresie opracowano wskaźnik  $iV$ . Wartość wskaźnika  $iV$  to iloraz średnich wolumenów transakcji liczonych z  $k$  i  $d$  interwałów z uwzględnieniem założenia, że  $k < d$ .

$$iV_t(k, d) = \frac{\frac{1}{k} \sum_{j=t-k}^{t-1} Volume_j}{\frac{1}{d} \sum_{j=t-d}^{t-1} Volume_j}$$

W sytuacji stabilizacji na rynku wartość wskaźnika  $iV$  oscyluje w rejonie 1 ( $iV \approx 1$ ), co jest utożsamiane z niepodjęciem żadnego działania (sygnał *Hold*). W sytuacji wzrostu zaangażowania inwestorów ( $iV > 1$ ) zaleca się podjęcie decyzji transakcyjnej bez wskazania jej rodzaju (*Buy* lub *Sell*). Oznacza to, że wskaźnik  $iV$  nie może samodzielnie funkcjonować w procesie podejmowania decyzji transakcyjnych, a jedynie stanowi narzędzie wspomagające proces podejmowania decyzji w warunkach niepewności (wielokryterialnego wyboru).



**Rysunek 4.** Funkcje przynależności sygnałów *Buy*, *Hold* i *Sell* wskaźnika  $iV$

Źródło: opracowanie własne.

Na rysunku 4 przedstawiono trzy funkcje przynależności wskaźnika  $iV$  skonstruowane w na podstawie ocen lingwistycznych inwestorów. Wartości parametrów  $k$ ,  $d$ ,  $V_1$  i  $V_2$  są ustalane na etapie procesu optymalizacji prezentowanego systemu transakcyjnego z uwzględnieniem następujących założeń:  $0 < k < d$  i  $1 \leq V_1 < V_2$ .

#### 1.4. Wskaźnik wstęgi Bollingera *BB*

Wstęga Bollingera<sup>5</sup> (rysunek 5) jest zbudowana z rdzenia, który stanowi linia prezentująca kolejne wartości średniej kroczącej SMA, oraz tzw. ramion wstęgi pod postacią linii dolnej (*DownLine*) i górnej (*UpLine*) oddalonych od rdzenia o  $w_{odt}$  krotność odchylenia standardowego.



**Rysunek 5.** Postać graficzna wskaźnika wstęgi Bollingera na tle notowań pary walutowej GBP/USD

Źródło: opracowanie własne.

Współczynnik  $w_{odt} = 2$  według reguł statystycznych zapewnia, że 95% wszystkich obserwacji powinno znajdować się wewnątrz ramion wstęgi. Z uwagi na to zakłada się, że nie powinno podejmować się decyzji inwestycyjnej w sytuacji, gdy kurs notowań znajduje się wewnątrz ramion (sygnał *Hold*). Decyzję kupna (sygnał *Buy*) powinno podejmować się w przypadku, gdy aktualny kurs znajduje się poniżej dolnej wstęgi ( $cena < DownLine$ ), a decyzję sprzedaży (sygnał *Sell*), gdy kurs znajduje się powyżej górnej wstęgi ( $cena > UpLine$ ).

<sup>5</sup> Wskaźnik opracowany przez Johna Bollingera na początku lat osiemdziesiątych XX w. zakładający, że zmienność cen jest dynamiczna, a nie statyczna.

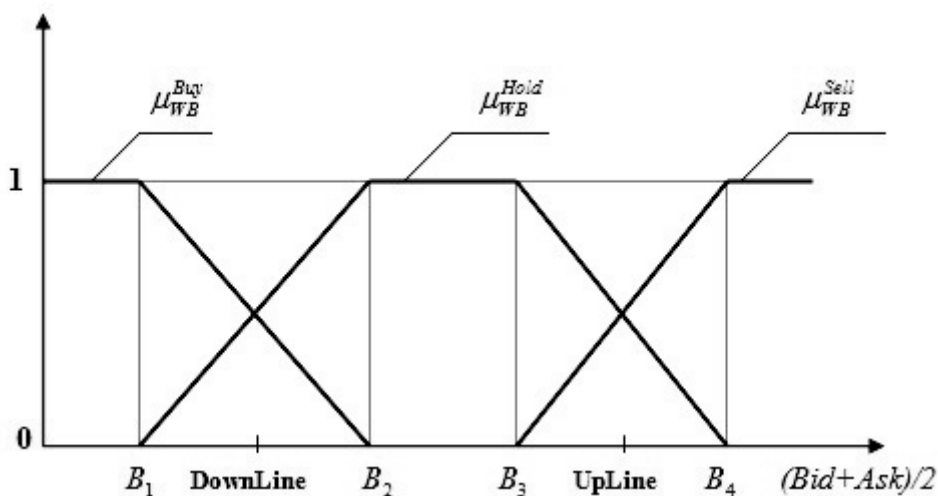


$$UpLine_t(b) = SMA_t(b) + w_{odt} * \sqrt{\frac{1}{b} \sum_{j=t-b}^{t-1} (Close_j - SMA_t(b))^2},$$

$$DownLine_t(b) = SMA_t(b) - w_{odt} * \sqrt{\frac{1}{b} \sum_{j=t-b}^{t-1} (Close_j - SMA_t(b))^2}.$$

gdzie:  $SMA_t(b) = \frac{1}{b} \sum_{j=1}^b Close_j$ ,  $b$  to liczba interwałów uwzględnianych w obliczeniach wartości wskaźnika  $BB$ , a  $w_{odt}$  to krotność odchylenia standardowego zastosowanego w obliczeniach wskaźnika  $BB$ .

Na rysunku 6 przedstawiono trzy funkcje przynależności wskaźnika  $BB$  skonstruowane na podstawie ocen lingwistycznych inwestorów. Wartości parametrów  $b$ ,  $w_{odt}$ ,  $B_1$ ,  $B_2$ ,  $B_3$  i  $B_4$  są ustalane na etapie procesu optymalizacji prezentowanego systemu transakcyjnego z uwzględnieniem następujących założeń:  $B_1 < DownLine < B_2 \leq B_3 < UpLine < B_4$ ,  $b > 0$  i  $1 \leq w_{odt} \leq 2$ .



Rysunek 6. Funkcje przynależności sygnałów Buy, Hold i Sell wskaźnika  $BB$

Źródło: opracowanie własne.

## 2. Zastosowanie logiki rozmytej w analizie otrzymanych wartości wskaźników analizy technicznej

Uwzględnienie trzech decyzji transakcyjnych *Buy*, *Sell* i *Hold* w systemie logiki rozmytej spowodowało konieczność określenia zasad, na podstawie których będą realizowane określone działania transakcyjne. Podjęcie decyzji transakcyjnej na podstawie analizy wartości uzyskiwanych przez jeden wskaźnik doświadczonemu inwestorowi nie nastręcza większych problemów. Jednak przy zastosowaniu większej liczby wskaźników interpretacja

ich wartości zazwyczaj już nie jest tak jednoznaczna, gdyż sytuacje, w których wszystkie zastosowane wskaźniki wskazują na tę samą decyzję inwestycyjną (np. *Buy*), występują stosunkowo rzadko. Dlatego w prezentowanym podejściu postanowiono, że kolejne (co każdy interwał) sygnały transakcyjne będą generowane na podstawie wyników otrzymanych po zastosowaniu wybranej metody agregacji. Przegląd metod agregowania kryteriów lokalnych przedstawiono w pracy Zimmermana (1987).

W prezentowanym zagadnieniu występują trzy grupy agregatorów kryteriów charakteryzujących siłę sygnału kupna (*Buy*), siłę sygnału sprzedaży (*Sell*) oraz siłę sygnału czekaj (*Hold*) w  $t$ -ym interwale. W związku z tym wprowadzono trzy grupy agregatorów ( $DT_t^{Buy}$ ,  $DT_t^{Sell}$ ,  $DT_t^{Hold}$ ), które przedstawiają się następująco:

$$DT_t^{Buy} = f \mu_{dEMA}^{Buy}, \mu_{HBar}^{Buy}, \mu_{iV}^{Buy}, \mu_{WB}^{Buy}, \alpha_{dEMA}, \alpha_{HBar}, \alpha_{iV}, \alpha_{WB}$$

$$DT_t^{Sell} = f \mu_{dEMA}^{Sell}, \mu_{HBar}^{Sell}, \mu_{iV}^{Sell}, \mu_{WB}^{Sell}, \alpha_{dEMA}, \alpha_{HBar}, \alpha_{iV}, \alpha_{WB}$$

$$DT_t^{Hold} = f \mu_{dEMA}^{Hold}, \mu_{HBar}^{Hold}, \mu_{iV}^{Hold}, \mu_{WB}^{Hold}, \alpha_{dEMA}, \alpha_{HBar}, \alpha_{iV}, \alpha_{WB}$$

gdzie  $\alpha_{dEMA}, \alpha_{HBar}, \alpha_{iV}, \alpha_{WB}$  są współczynnikami względnej ważności (rangami) kryteriów lokalnych, czyli są parametrami adaptacyjnymi modelu, a ich wartość jest dobierana na podstawie przyjętego warunku, że  $\alpha_{dEMA} + \alpha_{HBar} + \alpha_{iV} + \alpha_{WB} = 4$ .

Założono, że w prezentowanym podejściu wartości  $DT_t^{Buy}$ ,  $DT_t^{Sell}$ ,  $DT_t^{Hold}$  będą wyliczane za pośrednictwem jednej z poniższych metod agregacji kryteriów lokalnych (zaadaptowanych do modelu):

- metoda addytywna

$$DT_t^{Buy} = \frac{1}{4} \mu_{dEMA}^{Buy} * \alpha_{dEMA} + \mu_{HBar}^{Buy} * \alpha_{HBar} + \mu_{iV}^{Buy} * \alpha_{iV} + \mu_{WB}^{Buy} * \alpha_{WB}$$

$$DT_t^{Sell} = \frac{1}{4} \mu_{dEMA}^{Sell} * \alpha_{dEMA} + \mu_{HBar}^{Sell} * \alpha_{HBar} + \mu_{iV}^{Sell} * \alpha_{iV} + \mu_{WB}^{Sell} * \alpha_{WB}$$

$$DT_t^{Hold} = \frac{1}{4} \mu_{dEMA}^{Hold} * \alpha_{dEMA} + \mu_{HBar}^{Hold} * \alpha_{HBar} + \mu_{iV}^{Hold} * \alpha_{iV} + \mu_{WB}^{Hold} * \alpha_{WB}$$

- metoda multiplikatywna

$$DT_t^{Buy} = \frac{1}{4} \mu_{dEMA}^{Buy} * \alpha_{dEMA} * \mu_{HBar}^{Buy} * \alpha_{HBar} * \mu_{iV}^{Buy} * \alpha_{iV} * \mu_{WB}^{Buy} * \alpha_{WB}$$

$$DT_t^{Sell} = \frac{1}{4} \mu_{dEMA}^{Sell} * \alpha_{dEMA} * \mu_{HBar}^{Sell} * \alpha_{HBar} * \mu_{iV}^{Sell} * \alpha_{iV} * \mu_{WB}^{Sell} * \alpha_{WB}$$

$$DT_t^{Hold} = \frac{1}{4} \mu_{dEMA}^{Hold} * \alpha_{dEMA} * \mu_{HBar}^{Hold} * \alpha_{HBar} * \mu_{iV}^{Hold} * \alpha_{iV} * \mu_{WB}^{Hold} * \alpha_{WB}$$

– metoda maksymalnego pesymizmu

$$\begin{aligned}
 DT_t^{Buy} &= \min \mu_{dEMA}^{Buy} * \alpha_{dEMA}, \mu_{HBar}^{Buy} * \alpha_{HBar}, \mu_{iV}^{Buy} * \alpha_{iV}, \mu_{WB}^{Buy} * \alpha_{WB} \\
 DT_t^{Sell} &= \min \mu_{dEMA}^{Sell} * \alpha_{dEMA}, \mu_{HBar}^{Sell} * \alpha_{HBar}, \mu_{iV}^{Sell} * \alpha_{iV}, \mu_{WB}^{Sell} * \alpha_{WB} \\
 DT_t^{Hold} &= \min \mu_{dEMA}^{Hold} * \alpha_{dEMA}, \mu_{HBar}^{Hold} * \alpha_{HBar}, \mu_{iV}^{Hold} * \alpha_{iV}, \mu_{WB}^{Hold} * \alpha_{WB}
 \end{aligned}$$

Wybór metody agregacji ( $m_{agr}$ ) stanowi kolejny element podlegający procesowi optymalizacji. Ostatecznie  $t$ -ta decyzja transakcyjna ( $DT$ ) zostaje podjęta na podstawie porównania wartości uzyskanych przez agregatory poszczególnych decyzji transakcyjnych.

$$DT_t = \max DT_t^{Buy}, DT_t^{Sell}, DT_t^{Hold}$$

W pracy Sevastjanova i Figata (2007) przeprowadzono analizę znanych metod agregacji i ustalono, że standardowa agregacja addytywna nie jest w większości przypadków najlepszym rozwiązaniem problemu. Jednak w opracowanej strategii zaleca się stosowanie agregacji addytywnej, ponieważ przeprowadzone badania wykazały, że pomimo swoich wad powyższa metoda generuje największą liczbę sygnałów transakcyjnych, jest podejściem najmniej rygorystycznym (jeden źle dobrany parametr nie dyskwalifikuje całego systemu), a jednocześnie zastosowana w systemach transakcyjnych osiąga lepsze wyniki od tych uzyskiwanych przy zastosowaniu pozostałych metod agregacji (multiplikatywnej i maksymalnego pesymizmu).

### 3. Optymalizacja i testowanie opracowanej strategii transakcyjnej

W budowie automatycznych systemów transakcyjnych można wyodrębnić dwa odrębne bloki: decyzyjny oraz transakcyjny. Rolą pierwszego jest cykliczne (w ramach przyjętego interwału, np. co godzinę) generowanie sygnałów transakcyjnych, natomiast blok transakcyjny odpowiada za skuteczne zarządzanie tymi sygnałami. Elementy bloku decyzyjnego prezentowanego podejścia zostały opisane w rozdziałach 1 i 2. Blok transakcyjny oprócz mechanizmu odpowiadającego za realizację zleceń na rynku zawiera szereg parametrów, których wartości określa inwestora lub też ustalane są na etapie optymalizacji systemu. Do takich parametrów można zaliczyć: interwał ( $T$ ); wolumen ( $size$ ) pojedynczej pozycji: stały (np. 0.1 [lot]<sup>6</sup>) lub zmienny o wartości określonej dynamicznie na podstawie analizy sytuacji rynkowej (np. od 0.1 do 0.5 [lot]); maksymalną liczbę otwartych pozycji w danym momencie ( $lop$ ); metodę zamykania pozycji (pojedynczo lub seryjnie w ramach trwania jednego interwału) w przypadku pojawienia się sygnału przeciwnego wobec aktualnie

<sup>6</sup> Jednostka określająca wielkość zlecenia. W przypadku par walutowych 1 lot odpowiada 100 tys. jednostkom waluty bazowej.

otwartych pozycji (np. sygnał *Buy* wobec otwartych pozycji typu *short*); wartości stop loss<sup>7</sup> (*SL*) i take profit<sup>8</sup> (*TP*) itd.

Celem każdego podejścia inwestycyjnego jest maksymalizacja zysków. W prezentowanym podejściu funkcja celu *FC* jest uzależniona od szeregu optymalizowanych parametrów i przedstawia się następująco:

$$FC(T, n, E_1, E_2, E_3, E_4, m, H_1, H_2, H_3, H_4, k, d, V_1, V_2, b, w_{odt}, B_1, B_2, B_3, B_4, SL, TP, m_{agr}, \alpha_{dEMA}, \alpha_{HBar}, \alpha_{iV}, \alpha_{WB}, size, lop) \rightarrow max$$

Optymalizacja opracowanej strategii transakcyjnej polega na doborze wartości parametrów modelu dostarczających najlepszych wartości wyznaczonych kryteriów jakości w wyznaczonym zakresie czasu (tzw. zbiór uczący) bezpośrednio poprzedzającym interwał, od którego zostanie uruchomienia strategia na rynku rzeczywistym. Optymalizacji podlegają wartości parametrów odpowiadających za kształt zastosowanych trapezoidalnych funkcji przynależności (rysunki 2–4, 6), wartości parametrów mających wpływ na wartości wskaźników zastosowanych w modelu oraz parametry bloku transakcyjnego. Inwestor na podstawie wcześniejszych badań numerycznych, a przede wszystkim własnego doświadczenia, ustala zakresy dopuszczalnych wartości optymalizowanych parametrów dla poszukiwania najlepszego rozwiązania (rysunek 7). W większości przypadków inwestorzy za najważniejsze kryterium wskazują poziom zysku uzyskiwanego przez strategię na zbiorze uczącym.

Zmienna	Wartość	Start	Krok	Stop
<input checked="" type="checkbox"/> okres_EMAd	4	6	2	20
<input checked="" type="checkbox"/> okres_wstega	14	14	2	24
<input checked="" type="checkbox"/> okres_Vk	5	2	1	8
<input checked="" type="checkbox"/> okres_Vd	10	10	2	40
<input checked="" type="checkbox"/> okres_iHBAR	10	4	2	20
<input checked="" type="checkbox"/> wstega_odl	2.0	1.6	0.1	2.0
<input checked="" type="checkbox"/> E1	-0.0004	-0.001	0.0001	-0.0005

**Rysunek 7.** Panel ustalania parametrów procesu optymalizacji

Źródło: opracowanie własne.

Prezentowana strategia transakcyjna została zaimplementowana w języku MQL4. Badania zostały przeprowadzone za pomocą aplikacji MetaTrader wykorzystywanej przez większość brokerów funkcjonujących na rynku polskim (m.in. DM BZ WBK, BRE Forex, XTB, Admiral Markets). Za źródło danych posłużyły archiwalne notowania wybranych par walutowych pochodzące z okresu 1 stycznia – 30 czerwca 2014 (źródło: *Inwestor online FX*). Badania zostały przeprowadzone w dwóch etapach: optymalizacji (zbiór uczący stanowiły

<sup>7</sup> Określa poziom dopuszczalnych strat.

<sup>8</sup> Określa poziom oczekiwanych zysków.

dane z okresu 1 stycznia – 31 marca 2014) i testowania (dane z okresu 1 kwietnia – 30 czerwca 2014). Zakresy czasowe przeznaczone na optymalizację, testowanie oraz zastosowane interwały zostały ustalone na podstawie wcześniejszych doświadczeń (choć mogą być przedmiotem optymalizacji). Z uwagi na właściwości zastosowanych wskaźników analizy technicznej postanowiono, że kolejne decyzje transakcyjne będą podejmowane w momencie pojawienia się pierwszego ticku (transakcji) w ramach każdego  $t$ -ego interwału.

W badaniach założono, że w danym momencie mogą być otwarte maksymalnie trzy pozycje ( $lop = 3$ ) o wolumenach kolejno: pierwsza pozycja 0.3 [lot], druga 0.2 [lot] i trzecia 0.1 [lot], czyli sumaryczny wolumen wszystkich otwartych pozycji maksymalnie mógł wynieść 0.6 [lot]. Ponadto założono, że w przypadku pojawienia się przeciwnego sygnału transakcyjnego w stosunku do otwartych pozycji w danym interwale zostanie zamknięta tylko najstarsza pozycja. Dźwignię finansową (Czekaj, Dresler 1998) ustalono na poziomie 1:50, a depozyt zabezpieczający w kwocie 10 tys. zł (co odpowiadało kapitałowi równemu 500 tys. zł). Kwota 10 tys. zł stanowi punkt odniesienia na rysunkach 8 i 9 prezentujących krzywe dochodów uzyskane na etapach optymalizacji i testowania systemu przy zastosowaniu danych notowań pary USD/CHF z wykorzystaniem interwałów jednogodzinnych (1H). Krzywe dochodów uzyskane w pozostałych badaniach mają podobne wykresy.

W tabeli 1 oraz na rysunkach 8 i 9 przedstawiono poszczególne wyniki uzyskane na etapach optymalizacji i symulacji (testowania) działania opracowanej strategii transakcyjnej. W badaniach zostały wykorzystane dane notowań dwóch par walutowych: EUR/USD i USD/CHF dla dwóch wartości interwałów 1H i 4H. W tabeli 1 przedstawiono wartość zysku odnotowanego w trakcie danego badania, liczbę wszystkich zrealizowanych transakcji w badanym okresie (liczba transakcji) oraz procentowy udział trafnych transakcji (skuteczność). Punkt odniesienia dla otrzymanych wyników stanowią wyniki uzyskane w analogicznym okresie przez metodę *Buy & Hold* polegającą na otwarciu pozycji (o wartości 10 tys. zł) na początku okresu i zamknięciu jej na sam koniec (w tym przypadku założono podjęcie trafnej decyzji co do rodzaju otwartej pozycji).

**Tabela 1**

Wyniki przeprowadzonych badań

Instrument	Interwał	Optymalizacja (1.01–31.03.2014)			Testowanie (1.04–30.06.2014)		
		Liczba transakcji	Skuteczność (%)	Zysk (zł)	Liczba transakcji	Skuteczność (%)	Zysk (zł)
EUR/USD	1H	118	44,07	2193,19	115	40,00	782,19
EUR/USD	4H	35	57,14	1615,49	27	59,26	1279,95
EUR/USD	Metoda <i>Buy &amp; Hold</i>						77,38
USD/CHF	1H	90	50,00	2462,73	77	38,96	917,82
USD/CHF	4H	21	71,43	1180,81	25	56,00	1412,61
USD/CHF	Metoda <i>Buy &amp; Hold</i>						22,03

Źródło: opracowanie własne.



**Rysunek 8.** Krzywa dochodu uzyskana na etapie optymalizacji (*USD/CHF, 1H*)

Źródło: opracowanie własne.



**Rysunek 9.** Krzywa dochodu uzyskana na etapie testowania (*USD/CHF, 1H*)

Źródło: opracowanie własne.

## Uwagi końcowe

W niniejszej pracy przedstawiono podstawowe elementy opracowanego podejścia inwestycyjnego, w ramach którego zastosowano syntezę metod logiki rozmytej i grupy składającej się z opracowanych oraz wyselekcjonowanych wskaźników analizy technicznej. Wśród zastosowanych wskaźników znalazły się m.in. powszechnie już znane narzędzia jak wstęga Bollingera oraz średnia EMA, które zostały odpowiednio zaadaptowane do projektowanego modelu. Jednak przeprowadzone badania wykazały, że skuteczność opracowanego podejścia w większym stopniu jest uzależniona od właściwego zastosowania nowo opracowanych wskaźników *HBar* i *iV*. W szczególności dużą rolę w systemie odgrywa wskaźnik *HBar* bazujący na analizie kształtowania się wykresu świecowego.

Przeprowadzone badania udowodniły, że opracowana strategia generuje dużą liczbę sygnałów transakcyjnych, przez co stosunkowo szybko są zamykanie stratne pozycje. W ten sposób ograniczono ryzyko związane z bieżącymi stratami. We wszystkich przypadkach uzyskano dodatnie wyniki (zysk), a poszczególne osiągnięte wyniki były znacznie wyższe

od tych, jakie w analogicznym okresie można byłoby uzyskać, stosując metodę *Buy & Hold* (w czym duża zasługa zastosowanej dźwigni finansowej). Należy podkreślić, że okres optymalizacji, a następnie pracy systemu na rynku rzeczywistym powinien być ustalany indywidualnie dla każdej pary walutowej i zastosowanego interwału. W prezentowanych przykładach zastosowano stałe okresy optymalizacji i testowania tylko wyłącznie w celach porównawczych. W praktyce reoptymalizacji<sup>9</sup> systemu dokonuje się nie co określony przedział czasowy, ale w przypadkach znaczącego spadku jego skuteczności, czego powodem zazwyczaj jest zmiana sytuacji rynkowej (np. zmiana trendu, wzrost obrotów). Oznacza to, że w warunkach stabilizacji nastrojów na rynku reoptymalizacji systemu dokonuje się znacznie rzadziej niż w okresie dużej zmienności.

Przeprowadzone badania wykazały, że złożoność obliczeniowa prezentowanej metody jest trzy–czterokrotnie mniejsza od złożoności obliczeniowej metod zaproponowanych w pracach Kaczmarka (2010), Sevastjanova i in. (2012), co z kolei przekłada się na skrócenie czasu optymalizacji o około 50–60%. Jednak należy podkreślić, że dla inwestorów indywidualnych powyższy parametr dalej stanowi znaczący problem, zazwyczaj rozwiązywany poprzez ograniczenie zakresów wartości parametrów, w ramach których dokonuje się procesu optymalizacji systemu. Oznacza to, że w takich warunkach system wymaga obsługi przez inwestora mającego duże doświadczenie w stosowaniu tego typu narzędzi. Z drugiej strony opracowana metoda daje duże możliwości jej dowolnego kształtowania (możliwość ustalania/wyłączania/włączania poszczególnych elementów i parametrów) oraz wprowadzania autorskich modyfikacji, np. generowanie sygnałów co określoną liczbę transakcji mających miejsce w danym interwale lub w przypadku określonej zmiany ceny. Konstrukcja opracowanego podejścia umożliwiła zastosowanie na wszelkiego typu rynkach papierów wartościowych (m.in. na takich giełdach, jak NYSE i NASDAQ).

## Literatura

- Baba N., Kozaki M. (1992), *An intelligent forecasting system of stock price using neural networks*, Proceedings of IJCNN '92, s. 317–377.
- Czekaj J., Dresler Z. (1998), *Zarządzanie finansami przedsiębiorstw. Podstawy teorii*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Dymova L., Sevastjanov P., Bartosiewicz P. (2010), *A new approach to the rulebase evidential reasoning: Stock trading expert system application*, „Expert Systems with Applications”, vol. 37, s. 5564–5576.
- Kaczmarek K. (2010), *System wspomagający pracę tradera. Porównanie warunków handlu elektronicznego na rynku polskim z warunkami handlu na rynku amerykańskim*, Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego nr 612, Finanse, Rynki Finansowe, Ubezpieczenia nr 28, Szczecin, s. 381–394.
- Kaczmarek K. (2011), *Zastosowanie syntezy logiki rozmytej i teorii Dempstera–Shafera w systemie transakcyjnym*, „Metody Informatyki Stosowanej”, nr 3(28), s. 77–90.

---

<sup>9</sup> Ponowny proces optymalizacji, czyli proces ustalenia nowych wartości optymalizowanych parametrów w celu uzyskania lepszych kryteriów jakości w danym okresie (w prezentowanym modelu to dopasowanie systemu do aktualnej sytuacji rynkowej).

- Kaczmarek K. (2012), *Opracowanie automatycznego systemu transakcyjnego na podstawie syntezy logiki rozmytej i teorii Dempstera-Shafera z uwzględnieniem dwóch źródeł świadectw*, w: *Metody matematyczne, ekonomiczne i komputerowe w finansach i ubezpieczeniach 2010* (2012), red. S. Barczak, D. Iskra, Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego w Katowicach, Katowice, s. 153–174.
- Kuo R.J., Chen C.H., Hwang Y.C. (2001), *An intelligent stock trading decision support system through integration of genetic algorithm based fuzzy neural network and artificial neural network*, „Fuzzy Sets and Systems”, vol. 118, s. 21–45.
- Mahfoud S., Mani G. (1996), *Financial forecasting using genetic algorithms*, „Applications of Artificial Intelligence”, vol. 10, s. 543–566.
- Mehta K., Bhattacharyy S. (2004), *Adequacy of training data for evolutionary mining of trading rules*, „Decision Support Systems”, vol. 37, s. 461–474.
- Pawlak Z. (1982), *Rough sets*, „International Journal of Information and Computer Science”, vol. 11, s. 145–172.
- Sevastjanov P. (2007), *Numerical methods for interval and fuzzy number comparison based on the probabilistic approach and Dempster-Shafer theory*, „Information Sciences”, vol. 177, s. 4645–4661.
- Sevastjanov P., Figat P. (2007), *Aggregation of aggregating modes in MCDM: Synthesis of Type 2 and Level 2 fuzzy sets*, „Omega” 35, s. 505–523.
- Sevastjanov P., Dymova L. (2009), *Synthesis of fuzzy logic and Dempster-Shafer theory for the simulation of the decision-making process in stock trading systems*, „Mathematics and Computers in Simulation”, vol. 80, s. 506–521.
- Sevastjanov P., Dymova L., Kaczmarek K. (2012), *A stock trading expert system based on the rule-base evidential reasoning using Level 2 Quotes*, „Expert Systems with Applications”, s. 7150–7157.
- Shen L., Loh H.T. (2004), *Applying rough sets to market timing decisions*, „Decision Support Systems”, vol. 37, s. 583–597.
- Tsumoto S. (2003), *Automated extraction of hierarchical decision rules from clinical databases using rough set model*, „Expert Systems with Applications”, vol. 24, s. 189–197.
- Wang Y.F. (2003), *Mining stock price using fuzzy rough set system*, „Expert Systems with Applications”, vol. 24, s. 13–23.
- Zadeh L.A. (1965), *Fuzzy sets*, „Information and Control”, vol. 8, s. 338–358.
- Zimmerman, H.-J. (1987), *Fuzzy Sets, Decision-Making, and Expert Systems*, International Series in Management Science Operations Research, vol. 10, Kluwer Academic Publishers.

#### THE USE OF SELECTED INDICATORS OF TECHNICAL ANALYSIS IN ALGORITHMIC TRANSACTION SYSTEM

**Abstract:** The development of information and communication technologies in the universal access to the Internet has opened investors individual access to the FX market. Currently, Forex brokers provide a modern and powerful trading platforms, containing many practical tools including modules for trade in automatic mode via their own trading strategies.

The paper presents the algorithm and results of the effectiveness of automated transaction system developed to operate on the currency market Forex. The proposed approach is based on an analysis of the indications of each selected indicators of technical analysis using methods of fuzzy logic. Optimization and testing constructed trading strategy conducted on archival data records selected currency pairs.

**Keywords:** Forex, automated trading system, fuzzy logic, optimization