

TESTY BŁĄDZENIA LOSOWEGO A PREDYKCJA RYNKU FOREX

Jerzy Korczak^{1*}, Filip Wójcik²

¹ Międzynarodowa Wyższa Szkoła Logistyki i Transportu we Wrocławiu, Polska
² Uniwersytet Ekonomiczny we Wrocławiu, Wydział Zarządzania, Informatyki i Finansów, Polska

Streszczenie: Celem niniejszego artykułu jest analiza i przetestowanie predykcyjności cen na rynku walutowym (Forex) w ramach wybranych przykładów, poprzez badanie i weryfikację błędzenia losowego. W badaniu przeanalizowano hipotezę rynku efektywnego (EMH – ang. Efficient Market Hypothesis) i teorię błędzenia losowego, wskazując na wyzwania związane z prognozowaniem cen walut. Hipotezę zerową zweryfikowano przy wykorzystaniu kilku metod, m.in. testu ilorazu wariancji MacKinlaya, rozszerzonego testu Dickeya–Fullera (ADF – ang. Augmented Dickey–Fuller) z jednoczesnym testem KPSS (Kwiatkowski, Phillips, Schmidt, Shin). Badanie objęło testy błędzenia losowego na przykładzie pary walutowej EUR/USD przy różnych agregacjach czasowych notowań. Wyniki eksperymentalne są niejednoznaczne, ukazując różnice w zależności od agregacji danych oraz zastosowanych metod. Odrzucenie hipotezy błędzenia losowego w przypadku wysokiej częstotliwości danych sugeruje możliwość przewidywania cen, podczas gdy dane o niższej częstotliwości nie wykazują takich właściwości. W artykule podkreślono znaczenie weryfikacji hipotezy błędzenia losowego przed zastosowaniem modeli predykcyjnych na rynku Forex, zwracając uwagę na różnice wynikające z różnych metod analitycznych i agregacji.

Słowa kluczowe: analiza szeregów finansowych, metody weryfikacji hipotez, metodyka budowy modeli predykcyjnych, notowania na rynku Forex, teoria błędzenia losowego

Kod klasyfikacji JEL: C18, C22, C53, E27

¹ Jerzy Korczak, prof. dr hab., ul. Sołtysowicka 19 B, 51-168 Wrocław, Polska, jerzy.j.korczak@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-6441-6126>

² Filip Wójcik, dr, ul. Komandorska 118/120, 53-345 Wrocław, Polska, filip.wojcik@ue.wroc.pl, <https://orcid.org/0000-0001-5938-7260>

* Autor korespondencyjny: Jerzy Korczak, jerzy.j.korczak@gmail.com

Wprowadzenie

Z naszego doświadczenia wynika, że gracze giełdowi, szczególnie początkujący, często poświęcają dużo czasu na znalezienie najlepszego modelu prognozy rynkowej, nie sprawdzając wcześniej podstawowego warunku – jego przewidywalności. Bez spełnienia tego kryterium wszelkie wysiłki mające na celu rozwiązanie problemu prognozowania są niestety stratą czasu. W artykule zostanie pokazane, jak poprawnie metodycznie podejść do tego problemu.

Na rynkach finansowych przewidywalność odnosi się do możliwości prognozowania przyszłych zmian cen aktywów, takich jak akcje, waluty lub towary. Generalnie wysoce przewidywalny rynek charakteryzuje się wzorcami lub tendencjami cenowymi, na podstawie których można wiarygodnie prognozować zachowanie rynku. Wiarygodność wyznacza tu w oparciu o dostępne informacje i analizy pewien poziom jakości prognozy przyszłych wydarzeń, wyników lub zachowań. Jest to ważny aspekt w procesie podejmowania decyzji handlowych i zarządzaniu ryzykiem.

Przewidywalność na rynku walutowym (Forex) to złożony i dyskutowany temat wśród ekonomistów, traderów i analityków (Islam et al., 2020; Kochan, 2010). W artykule skoncentrowano się na dwóch kluczowych aspektach przewidywalności: hipotezie rynku efektywnego (EMH – ang. Efficient Market Hypothesis) i teorii błędzenia losowego (Brown, 2020; Kotu & Deshpande, 2019; Saghiri et al., 2019). Według EMH rynki finansowe, w tym rynek Forex, uwzględniają niemal natychmiast wszystkie dostępne informacje w cenach aktywów. Oznaczałoby to w praktyce, że trudno jest konsekwentnie przewidzieć krótkoterminowe zmiany cen, ponieważ ceny odzwierciedlają wszystkie znane informacje.

Hipoteza ta jest ściśle powiązana z teorią błędzenia losowego, która sugeruje, że przyszłych ruchów cen nie można przewidzieć na podstawie samych przeszłych ruchów cen, co oznacza, że ceny Forex kształtują się losowo (Malkiel, 1973). Dlatego analiza techniczna (oparta na historycznych wzorcach cen) nie zawsze może dostarczyć wiarygodnych prognoz. Traderzy i analitycy zazwyczaj stosują kombinację podejść w celu poprawy przewidywalności poprzez wykorzystanie analizy fundamentalnej, badania nastrojów rynkowych i psychologii traderów (Baillie & Bollerslev, 1989; Narasimhan & Sheridan, 1993; Saghiri et al., 2019).

W artykule skupimy się na teorii błędzenia losowego, która wpisuje się w podstawę analizy finansowych szeregów czasowych. Służy do opisu pozornie nieprzewidywalnych zmian cen aktywów, zakładając, że przyszłe zmiany cen są niezależne od zmian cen w przeszłości. Teoria ta ma głębokie implikacje w dziedzinie ekonomii finansowej, w szczególności w zrozumieniu efektywności rynku i wyzwań związanych z prognozowaniem (Xia et al., 2020).

Celem niniejszego artykułu jest analiza i przetestowanie predykcyjności cen na rynku walutowym (Forex) w ramach wybranych przykładów, poprzez badanie i weryfikację błędzenia losowego. Sprawdzenie możliwości opracowania prognozy na podstawie danych szeregów finansowych jest bardzo ważnym etapem, który powinien poprzedzać wszelkie badania i prognozy szeregów czasowych. W praktyce często obserwujemy usilne starania analityków mające na celu wybór i dostrojenie modeli predykcyjnych, bez sprawdzania, czy jest to w ogóle możliwe i czy szereg czasowy nie jest losowy. Odpowiedzią na to pytanie jest weryfikacja hipotezy błędzenia losowego.

Hipoteza błędzenia losowego przyjmuje, że zmiany cen są przypadkowe i nieprzewidywalne oraz wynikają z nowych informacji, które docierają losowo. W kontekście rynku Forex hipoteza ta sugeruje, że kursy walut podążają losowo, co uniemożliwia przewidzenie przyszłych ruchów na rynku na podstawie przeszłych obserwacji. W artykule pokazano, jak hipotezę tę można zweryfikować na różnych finansowych szeregach czasowych, począwszy od danych w czasie rzeczywistym, poprzez notowania minutowe, aż po notowania dzienne. Do przeprowadzenia badania wykorzystana zostanie wysoce zmienna para walutowa EUR/USD.

Artykuł ma następującą strukturę. W następnym punkcie zaprezentowano podstawy teorii błędzenia losowego i ważniejsze rezultaty. W drugim punkcie omówiono metody i techniki stosowane przy testowaniu hipotez błędzenia losowego. W punkcie trzecim przedstawiono wyniki badań eksperymentalnych na szeregach finansowych o różnej agregacji czasowej. W podsumowaniu artykułu podkreślono celowość przeprowadzenia analiz szeregów finansowych i sprawdzenia hipotezy błędzenia losowego przed rozpoczęciem procesu prognozowania rynku.

Elementy teorii błędzenia losowego

Błądzenie losowe w kontekście kursów walut oznacza taki model rynku, w którym przyszłe zmiany kursów wymiany są niezależne od zmian w przeszłości i wpływają na nie jedynie nowe, losowe informacje. Można to przedstawić formułą:

$$P_{t+1} = P_t + \epsilon_{t+1}$$

gdzie:

P_{t+1} i P_t to kursy wymiany w czasie $t+1$ i t ; ϵ_{t+1} to losowy składnik szoku lub błędu w chwili $t+1$, zwykle o rozkładzie normalnym ze średnią zerową.

Historycznie wprowadzenie teorii błędzenia losowego można przypisać pracom Pearsona i Bacheliera. Bachelier (1900) jako pierwszy zastosował ją do finansowych szeregów czasowych. Einstein, Wiener, a zwłaszcza Fama rozwinęli podstawy teoretyczne w ich dzisiejszym rozumieniu.

Hipoteza błędzenia losowego na rynku Forex jest ściśle powiązana z hipotezą efektywnego rynku (Fama, 1965; Xia et al., 2020). Według tej teorii, jeśli rynek Forex jest efektywny, to wszystkie dostępne informacje znajdują już odzwierciedlenie w bieżących kursach walut, a tylko nowe, nieprzewidywalne informacje mogą spowodować przyszłe zmiany cen. Implikowałoby to niemożliwość osiągnięcia w predykcji lepszych wyników niż rynek. Mimo to są analitycy rynkowi, zwłaszcza traderzy, którzy argumentują, że historyczne wzorce i trendy mogą w rzeczywistości dostarczyć przydatnych informacji na temat przyszłych cen, co podważa twierdzenie teorii, że ceny w przeszłości nie mają charakteru informacyjnego (Lo & MacKinlay, 1988). Wiadomo, że na kurs waluty wpływa niezwykle wiele czynników. Liczni praktycy uważają, że poprzez analizę techniczną można intuicyjnie zidentyfikować psychologię rynku (Kochan, 2010).

Błądzenie losowe to zjawisko statystyczne polegające na tym, że przyszłe wartości zmiennej wyznacza wyłącznie jej obecny stan i seria przypadkowych zmian. W kontekście rynków finansowych oznacza to, że ceny akcji ewoluują według sekwencji losowej. Hipoteza błędzenia losowego zakłada, że zmiany cen są losowe i nie można ich przewidzieć na podstawie przeszłych ruchów cen. W literaturze błędzenie losowe dzieli się na kategorie na podstawie ich charakterystyk na proste błędzenie losowe, geometryczne błędzenie losowe i błędzenie stochastyczne z dryfem. W eksperymentalnej części artykułu rozważono proste błędzenie losowe, w którym: każda obserwacja jest niezależna i ma identyczny rozkład ze zmianami wynikającymi z rozkładu normalnego ze średnią zerową i stałą wariancją.

W kolejnym punkcie omówiono kluczowe metody i narzędzia służące do badania losowości finansowych szeregów czasowych.

Metody badawcze i narzędzia

Dotychczas opublikowane wyniki badań empirycznych nad hipotezą błędzenia losowego nie są jednolite. Podczas gdy jedne badania potwierdzają pogląd, że ceny akcji podążają losowo, to drugie identyfikują wzorce, trendy i anomalie, które zaprzeczają tej teorii.

W literaturze prezentowane jest szerokie spektrum metod i narzędzi (Xia et al., 2020). Najpopularniejsze to:

1. Testy ilorazu wariancji zaproponowane przez Lo i MacKinlaya (Lo & MacKinlay, 1988; Campbell et al., 1996), porównujące wariancję stóp zwrotu obliczonych w różnych horyzontach czasowych. Autorzy uważają, że jeśli szereg przebiega losowo, to wariancja powinna rosnąć liniowo w czasie. Test ten sprawdza, czy stosunek wariancji znacznie różni się od tego, jakiego można by się spodziewać w przypadku błędzenia losowego. W późniejszych latach wprowadzono wiele wariantów tego testu, zróżnicowanych ze względu na specyfikę i charakter badanych szeregów czasowych (Charles & Darné, 2009).
2. Testy autokorelacji mierzące korelację szeregu czasowego z jego własnymi wartościami z przeszłości. W przypadku błędzenia losowego wynik testu autokorelacji powinien być bliski zeru, co wskazuje na brak liniowej zależności pomiędzy wartościami przeszłymi i przyszłymi. W celu sprawdzenia obecności autokorelacji notowań w statystyce jest stosowany test Ljung–Boxa. Przy braku autokorelacji, hipoteza zerowa zostanie odrzucona (Doman & Doman, 2009).
3. Testy pierwiastka jednostkowego mają kilka realizacji, mianowicie:
 - Rozszerzony test Dickeya–Fullera (Cheung & Lai, 1995). Testuje obecność pierwiastka jednostkowego w szeregu czasowym, gdzie hipoteza zerowa zakłada obecność pierwiastka jednostkowego (co wskazuje na błędzenie losowe). Odrzucenie hipotezy zerowej sugeruje stacjonarność, w przeciwieństwie do błędzenia przypadkowego.
 - Test Phillipsa–Perrona (Phillips & Perron, 1988). Podobny do poprzedniego testu, ale uwzględnia autokorelację i heteroskedastyczność w składnikach błędów. Testuje hipotezę zerową dotyczącą pierwiastka jednostkowego.

- Test Kwiatkowskiego–Phillipsa–Schmidta–Shina (KPSS) służy do badania stacjonarności (Kwiatkowski, 1992). Tutaj hipoteza zerowa jest stacjonarna, a odrzucenie implikuje obecność pierwiastka jednostkowego.
4. Test przebiegów będący testem nieparametrycznym badającym występowanie i długość przebiegów kolejnych zmian ceny tego samego znaku (Lyubchich et al., 2023). W przypadku błędzenia losowego liczba przebiegów powinna mieć określony rozkład, a odchylenia od tego rozkładu sugerują przewidywalność.
- Rzadziej stosowane są testy takie jak test Hursta, analiza spektralna, test kointegracji Engle’a–Grangera czy metoda Bootstrap (Breitung, 2002; Kotu & Deshpande, 2019). W celu zapewnienia bardziej poprawnej oceny doświadczeni inwestorzy zwykle stosują kombinację tych testów na poparcie lub obalenie hipotezy błędzenia losowego dla danego finansowego szeregu czasowego.

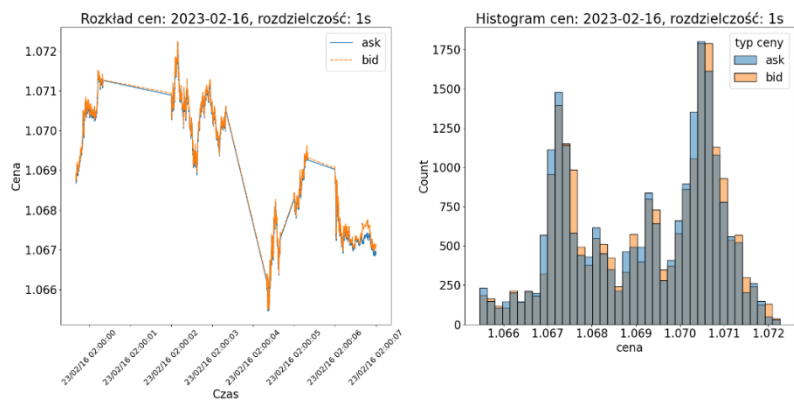
Testy błędzenia losowego na przykładzie pary walutowej EUR/USD

W ramach studiów przeprowadzono trzy testy błędzenia losowego dla pary walutowej EUR/USD w trzech różnych agregacjach czasowych notowań. W tym celu wybrano losowo po trzy szeregi dla każdej częstości obserwacji, mianowicie notowań 1-sekundowych, 1-minutowych i 1-godzinnych. Dla zapewnienia równoliczności obserwacji, w przypadku agregacji godzinowej, posłużono się danymi z 20 dni poprzedzających wyznaczoną datę, uzyskując tym samym zbliżoną liczbę próbek. Spośród wymienionych metod weryfikacji użyto najczęściej stosowany zmodyfikowany test MacKinlaya, rozszerzony test Dickeya–Fullera i test Kwiatkowskiego–Phillipsa–Schmidta–Shina. W literaturze podkreśla się walory tych testów; odporność na heteroskedastyczność i nienormalność, które często pojawiają się w notowaniach finansowych (Xia et al., 2020). Ponadto zapewniają one wygodny sposób na rozróżnienie przeszacowania oraz niedoszacowania notowań kursowych. Hipotezy testowe kształtują się w ich przypadku następująco:

1. Dla zmodyfikowanego testu MacKinlaya – hipoteza zerowa: szereg jest losowy, hipoteza alternatywna: szereg jest nielosowy.
2. Dla testu ADF – hipoteza zerowa: szereg jest losowy, hipoteza alternatywna: szereg jest nielosowy.
3. Dla testu KPSS – hipoteza zerowa: szereg jest nielosowy, hipoteza alternatywna: szereg jest losowy.

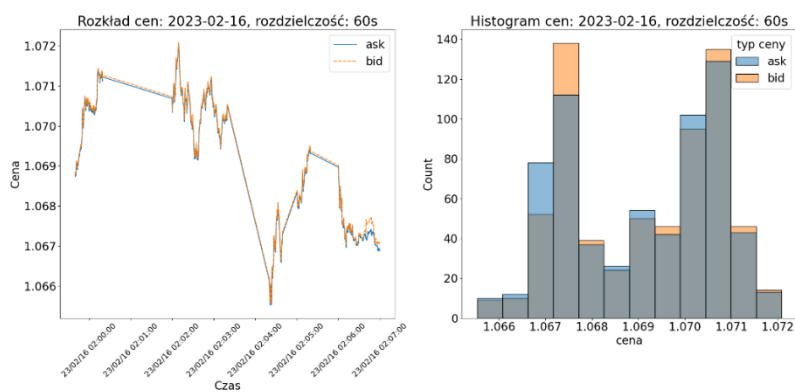
Dane do badań zebrano z wykorzystaniem narzędzia Dukascopy-Node (<https://www.dukascopy-node.app/>) – umożliwiającej pobieranie historycznych cen z rynku Forex w różnej agregacji czasowej. Testy błędzenia losowego przeprowadzono z wykorzystaniem języka Python v3.11 i powiązanych bibliotek: SciPy v1.14.0, NumPy v1.26.4 oraz pakietu narzędzi Evidently.AI v0.4.31 pozwalających na kompleksowe badanie rozbieżności w danych. Zmodyfikowany test MacKinlaya (zwany też testem ilorazu wariancji) przeprowadzono z wykorzystaniem pakietu Arch i powiązanych z nim publikacji (Sheppard et al., 2023).

Na Rysunkach 1-3 przedstawiono przykłady szeregów czasowych cen bid i ask oraz ich histogramów w różnych agregacjach czasowych.



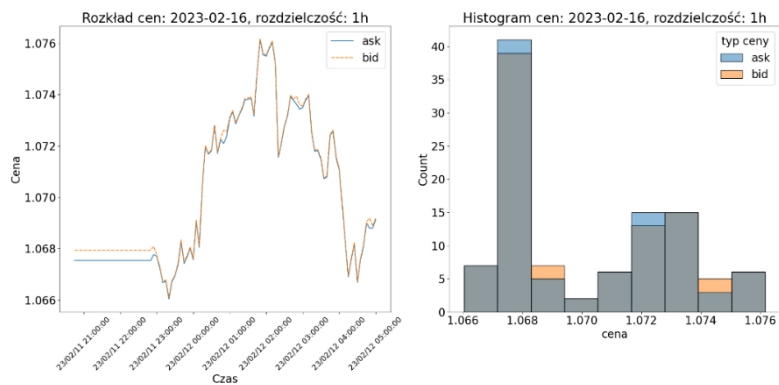
Rysunek 1. Wykres i histogram cen w agregacji sekundowej

Źródło: Badania i opracowanie własne



Rysunek 2. Wykres i histogram cen w agregacji minutowej

Źródło: Badania i opracowanie własne



Rysunek 3. Wykres i histogram cen w agregacji godzinowej

Źródło: Badania i opracowanie własne

Zmodyfikowany test MacKinlaya dla błędzenia losowego przeprowadzono poprzez zbadanie istotności statystycznej korelacji zmian stopy zwrotu liczonej według formuł (1)-(5) przedstawionych poniżej (Campbell et al., 1996; Charles & Darné, 2009; Lo & MacKinlay, 1988; Sheppard et al., 2023):

$$r(t) = \frac{cena(t) - cena(t-1)}{cena(t-1)} = \frac{cena(t)}{cena(t-1)} - 1 \quad (1)$$

$$\mu(r) = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n r(t) \quad (2)$$

$$\sigma^2(1) = \frac{1}{n-1} \sum_{t=1}^n (r(t) - \mu(r))^2 \quad (3)$$

$$\sigma^2(k) = \frac{1}{k(n-k+1)} \sum_{t=k}^n \left(\sum_{j=0}^{k-1} r(t-j) - k\mu(r) \right)^2 \quad (4)$$

$$VR(k) = \frac{\sigma^2(k)}{\sigma^2(1)} \quad (5)$$

gdzie:

$r(t)$ opisuje stopę zwrotu w czasie t ; n jest długością badanego szeregu czasowego (liczbą kroków w czasie); $\mu(r)$ jest średnią stopą zwrotu; k oznacza liczbę opóźnień (różnic w czasie w badanym szeregu); $\sigma^2(k)$ jest wariancją stóp zwrotu dla k opóźnień czasowych.

Teoria błędzenia losowego stwierdza, że hipoteza błędzenia losowego jest przyjęta, gdy korelacja wynosi zero. Każda niezerowa korelacja wskazuje na możliwość prognozowania przyszłych zmian cen walut, umożliwiając tym samym zysk finansowy. Kryterium wyznacza wartość krytyczna pozwalająca na przyjęcie lub odrzucenie hipotezy zerowej.

Oto wyniki testów:

W pierwszym eksperymencie zbadano notowania 1-sekundowe z następujących dni: 16 lutego, 8 maja i 13 czerwca 2023 roku, zawierające odpowiednio: 23,255, 31,971 i 15,514 notowań. W badaniach przekształcono zebrane dane źródłowe na szeregi stóp zwrotu dla operacji zakupu i sprzedaży.

Wyniki analizy eksperymentalnej przedstawiono w Tabeli 1. Gwiazdka (*) przy interpretacji oznacza istotność statystyczną na zadanym poziomie α . Test statystyczny przeprowadzono na poziomie istotności $\alpha = 0,05$, skorygowanym metodą Bonferroniego w celu zmniejszenia współczynnika fałszywych decyzji. Ponieważ badanie obejmowało trzy daty, każdego porównania dokonano przy zastosowaniu istotności $\alpha/3 \approx 0,016$.

Tabela 1. Analiza korelacji stóp zwrotu w agregacji sekundowej

	Rodzaj testu	2023-02-16		2023-05-08		2023-06-13	
		ask	bid	ask	bid	ask	bid
Statystyka testowa	ADF	-3,106	-3,147	-2,263	-2,269	-2,217	-2,244
	KPSS	1,08	1,077	2,746	2,752	3,561	3,547
	test MacKinlaya	-1,848	-1,788	-1,66	-0,673	-2,221	-2,771
<i>p</i> -wartość	ADF	0,105	0,096	0,454	0,451	0,48	0,465
	KPSS	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
	test MacKinlaya	0,065	0,074	0,097	0,501	0,026	0,006
Czy wykryto błędzenie losowe?	ADF	TAK	TAK	TAK	TAK	TAK	TAK
	KPSS	TAK*	TAK*	TAK*	TAK*	TAK*	TAK*
	test MacKinlaya	TAK	TAK	TAK	TAK	NIE*	NIE*

Źródło: Badania własne

Wyniki testów są jednoznaczne dla dat 2023-02-16 i 2023-05-08, gdzie test KPSS (jako jedyny istotny statystycznie wynik) wykazał losowość cen. W przypadku 2023-06-13 test MacKinlaya oraz test KPSS dały sprzeczne wskazania, w obu przypadkach istotne statystycznie. Łącznie w dwóch przypadkach z sześciu statystycznie istotne wskazania okazały się sprzeczne, w czterech – jednoznacznie wskazywały na losowość.

W Tabeli 2 podsumowano wyniki analizy dla agregacji minutowej. Gwiazdka (*) przy interpretacji oznacza istotność statystyczną na zadanym poziomie α .

Tabela 2. Analiza korelacji stóp zwrotu w agregacji minutowej

	Rodzaj testu	2023-02-16		2023-05-08		2023-06-13	
		ask	bid	ask	bid	ask	bid
Statystyka testowa	ADF	-3,643	-3,629	-2,068	-2,096	-2,009	-2,013
	KPSS	0,214	0,207	0,592	0,601	0,854	0,85
	test MacKinlaya	2,751	2,736	3,127	3,616	1,029	1,02
<i>p</i> -wartość	ADF	0,026	0,027	0,564	0,548	0,596	0,594
	KPSS	0,011	0,013	0,01	0,01	0,01	0,01
	test MacKinlaya	0,006	0,006	0,002	0	0,303	0,308
Czy wykryto błędzenie losowe?	ADF	NIE	NIE	TAK	TAK	TAK	TAK
	KPSS	TAK*	TAK*	TAK*	TAK*	TAK*	TAK*
	test MacKinlaya	NIE*	NIE*	NIE*	NIE*	TAK	TAK

Źródło: Badania własne

Także i w tym przypadku wyniki pozostają niejednoznaczne. Test MacKinlaya w czterech na sześć przypadków wskazał na brak losowości. Testy ADF i KPSS odznaczały się zmienną istotnością, wskazując przede wszystkim na losowość.

Ogółem w czterech przypadkach statystycznie istotne interpretacje były sprzeczne, w dwóch – jednoznacznie wskazywały na błędzenie losowe.

W Tabeli 3 podsumowano wyniki dla agregacji godzinowej. Gwiazdka (*) przy interpretacji oznacza istotność statystyczną na zadanym poziomie α .

Tabela 3. Analiza korelacji stóp zwrotu w agregacji godzinowej

		2023-02-16		2023-05-08		2023-06-13	
Rodzaj testu		ask	bid	ask	bid	ask	bid
Statystyka testowa	ADF	-2,497	-2,547	-3,929	-3,948	-3,232	-3,2
	KPSS	0,265	0,265	0,286	0,284	0,414	0,428
	test MacKinlaya	-1,244	-1,245	-0,899	-0,897	0,742	0,713
<i>p</i> -wartość	ADF	0,33	0,305	0,011	0,01	0,078	0,084
	KPSS	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
	test MacKinlaya	0,213	0,213	0,368	0,37	0,458	0,476
Interpretacja	ADF	TAK	TAK	NIE*	NIE*	TAK	TAK
	KPSS	TAK*	TAK*	TAK*	TAK*	TAK*	TAK*
	test MacKinlaya	TAK	TAK	TAK	TAK	TAK	TAK

Źródło: Badania własne

Dla agregacji godzinowej wyniki również pozostają niejednoznaczne, z przewagą błędzenia losowego. W dwóch z sześciu przypadków testy wskazały na brak losowości, w pozostałych utrzymując hipotezę zerową. W dwóch przypadkach statystycznie istotne interpretacje były sprzeczne, w czterech – jednoznacznie wskazywały na błędzenie losowe.

Interpretacja tego rodzaju wyników nie jest oczywista. Z jednej strony testy KPSS i ADF są przeznaczone pierwotnie do weryfikacji hipotezy o stacjonarności szeregu czasowego (także w obecności trendu). Praktyka pokazuje jednak, że są wykorzystywane do weryfikacji hipotezy błędzenia losowego (Zeren & Konuk, 2013). Należy jednak zwrócić uwagę na wrażliwość obu testów na obecność trendu i jego postać (liniową lub nieliniową), co może wpływać na istotność wyników, zwłaszcza w przypadku procedur automatycznych, aplikowanych bez nadzoru człowieka. Z kolei test MacKinlaya został zaprojektowany bezpośrednio jako narzędzie sprawdzania hipotezy rynku efektywnego i losowości rozkładu cen (Awiagah & Choi, 2018; Charles & Darné, 2009; Dias et al., 2021; Sheppard et al., 2023). Zasadna wydaje się więc łączna interpretacja wszystkich wyników, w zależności od specyfiki i charakterystyki badanego zakresu danych.

W Tabelach 1-3 zachodzą wszystkie możliwe kombinacje wyników dla każdej agregacji czasowej: konsensus (pełna zgodność wszystkich testów co do losowości lub jej braku), sprzeczność statystycznie istotnych wyników (różne testy dają różne rozstrzygnięcia) oraz sprzeczność wyników o zróżnicowanym stopniu istotności statystycznej. Świadczy to o znaczącej niestabilności i niejednoznaczności charakterystyki badanych szeregów czasowych, a także ich zmiennym charakterze. Nie można wykluczyć sytuacji, w której w pewnych okresach lub na pewnych odcinkach szeregi wykazują cechy błędzenia losowego, podczas gdy na innym odcinku lub w innej agregacji czasowej takich cech nie posiadają.

Należy zauważyć, że obecność autokorelacji w zwrotach wskazywałaby na przewidywalność, co zaprzecza hipotezie błędzenia losowego. Jednakże brak istotnej autokorelacji niekoniecznie dowodzi, że ceny podążają losowo, ponieważ może to wynikać z innych form efektywności rynku lub losowości.

Istotne jest zwrócenie uwagi na fakt, iż w niniejszym badaniu wykorzystano notowania EUR/USD dla wybranych dat w celach ilustracyjnych i zbadania na zgodności testów. Przedstawiona próbka szeregów czasowych jest zbyt mała, by uogólniać wnioski na cały, historyczny szereg czasowy pary EUR/USD lub też rynek Forex ogółem.

Dla inwestorów i analityków finansowych weryfikacja hipotezy błędzenia losowego stanowi poważne wyzwanie. Jeśli ruchy cen są naprawdę losowe, wówczas analiza techniczna i inne formy przewidywania rynku stają się nieskuteczne. Niektóre badania znajdują dowody potwierdzające hipotezę błędzenia losowego w przypadku głównych par walutowych, wskazując, że kursy wymiany są w dużej mierze nieprzewidywalne i podążają losowo. Inne badania identyfikują przewidywalność krótkoterminową, sugerując odchylenia od modelu błędzenia losowego.

Krytycy modelu błędzenia losowego argumentują, że nadmiernie upraszcza on złożoność rynków finansowych. Wskazują na takie zjawiska, jak trendy rynkowe, odwrócenie średniej oraz wpływ czynników makroekonomicznych, które sugerują, że ceny aktywów nie są czysto przypadkowe. Poglądy te nie podważają zasadności badania hipotezy błędzenia losowego, które w dalszym ciągu inspirowane do innowacji w modelowaniu finansowym, zarządzaniu ryzykiem i handlu algorytmicznym.

Podsumowanie

Hipoteza błędzenia losowego pozostaje kamieniem węgielnym teorii finansów, kształtując nasze rozumienie zachowań i efektywności rynku. Chociaż dowody empiryczne oferują zarówno wsparcie, jak i krytykę, koncepcja ta podkreśla nieodłączną niepewność i złożoność rynków finansowych. Skłania to do projektowania bardziej wyrafinowanych modeli, które lepiej oddają realia ruchów rynkowych.

Hipoteza błędzenia losowego zapewnia podstawowe ramy dla zrozumienia nieprzewidywalności kursów walut na rynku Forex. Chociaż hipoteza ta sprawdza się w wielu przypadkach, obecność krótkoterminowej przewidywalności i anomalii rynkowych sugeruje, że rynek Forex jest złożony i zależy od wielu czynników.

Dalsze badania będą obejmować wykorzystanie zaawansowanych narzędzi testowania dryftu danych, powiązanych z metodami uczenia maszynowego. Ich najważniejszym zadaniem jest detekcja, czy dwie próbki danych można przypisać do populacji o jednakowych charakterystykach, a tym samym – wnioski pochodzące z analizy pierwszej uogólniać na drugą (Ackerman et al., 2021).

Literatura

- Ackerman, S., Raz, O., Zalmanovici, M., & Zlotnick, A. (2021). Automatically detecting data drift in machine learning classifiers. *arXiv Preprint*. <https://arxiv.org/abs/2111.05672>. DOI: 10.48550/arXiv.2111.05672
- Awiagah, R., & Choi, S. S. B. (2018). Predictable or random? A test of the weak-form efficient market hypothesis on the Ghana stock exchange. *Journal of Finance and Economics*, 6(6), 213-222. DOI: 10.1016/j.jfeco.2018.05.001
- Bachelier, L. (1900). Théorie de la spéculation. *Annales Scientifiques de l'É.N.S.*, 17(3), 21-86.
- Baillie, R. T., & Bollerslev, T. (1989). Common stochastic trends in a system of exchange rates. *Journal of Finance*, 44(1), 167-181. DOI: 10.1111/j.1540-6261.1989.tb02499.x
- Breitung, J. (2002). Nonparametric tests for unit roots and cointegration. *Journal of Econometrics*, 108(2), 343-363. DOI: 10.1016/S0304-4076(01)00139-7
- Brown, S. J. (2020). The efficient market hypothesis. *Financial Analysts Journal*, 76(2), 5-14. DOI: 10.1080/0015198X.2020.1734375
- Campbell, J. Y., Lo, A. W., & MacKinlay, C. A. (1996). *The econometrics of financial markets*. Princeton University Press.
- Charles, A., & Darné, O. (2009). Variance-ratio tests of random walk: An overview. *Journal of Economic Surveys*, 23(3), 503-527. DOI: 10.1111/j.1467-6419.2008.00609.x
- Cheung, Y.-W., & Lai, K. S. (1995). Lag order and critical values of the augmented Dickey-Fuller test. *Journal of Business & Economic Statistics*, 13(3), 277-280. DOI: 10.1080/07350015.1995.10524538
- Dias, R. T., Pardal, P., Santos, H., & Vasco, C. (2021). Testing the random walk hypothesis for real exchange rates. W: *Handbook of research on reinventing economies and organizations following a global health crisis* (s. 304-322). IGI Global. DOI: 10.4018/978-1-7998-6929-5.ch019
- Doman, M., & Doman, R. (2009). *Modelowanie zmienności i ryzyka: Metody ekonometrii finansowej*. Wolters Kluwer.
- Fama, E. F. (1965). The behavior of stock-market prices. *Journal of Business*, 38(1), 34-105. DOI: 10.1086/294743
<https://www.dukascopy-node.app/> (dostęp: 23.09.2014).
- Islam, M. S., Hossain, E., Rahman, A., Shahadat, M. H., & Andersson, K. (2020). A review on recent advancements in FOREX currency prediction. *Algorithms*, 13(8), 186. DOI: 10.3390/a13080186
- Kochan, K. (2010). *FOREX w praktyce*. One Press.
- Kotu, V., & Deshpande, B. (2019). Time series forecasting. W: V. Kotu, B. Deshpande (Eds.), *Data science* (2nd ed.) (s. 395-445). Morgan Kaufmann. DOI: 10.1016/B978-0-12-814761-0.00012-5
- Kwiatkowski, D., Phillips, P. C. B., Schmidt, P., & Shin, Y. (1992). Testing the null hypothesis of stationarity against the alternative of a unit root: How sure are we that economic time series have a unit root?. *Journal of Econometrics*, 54, 159-178. DOI: 10.1016/0304-4076(92)90104-Y
- Lo, A. W., & MacKinlay, C. A. (1988). Stock market prices do not follow random walks: Evidence from a simple specification test. *The Review of Financial Studies*, 1(1), 41-66. DOI: 10.1093/rfs/1.1.41
- Lyubchich, V., Gel, Y., & Vishwakarma, S. (2023). *Functions for time series analysis (R package version 9.1)*. <https://cran.r-project.org/web/packages/funtimes/funtimes.pdf>
- Malkiel, B. G. (1973). *A random walk down Wall Street*. W.W. Norton & Company. <https://wnnorton.com/>

- Narasimhan, J., & Sheridan, T. (1993). Returns to buying winners and selling losers: Implications for stock market efficiency. *Journal of Finance*, 48(1), 65-80.
DOI: 10.1111/j.1540-6261.1993.tb04734.x
- Phillips, P. C., & Perron, P. (1988). Testing for a unit root in time series regression. *Biometrika*, 75(2), 335-346. DOI: 10.1093/biomet/75.2.335
- Saghiri, A. M., Khomami, M. D., & Meybodi, M. R. (2019). Random walk algorithms: Definitions, weaknesses, and learning automata-based approach. W: *Intelligent random walk: An approach based on learning automata* (s. 1-7). Springer. DOI: 10.1007/978-3-030-10883-0_1
- Sheppard, K., Khrapov, S., Lipták, G., Capellini, R., Fortin, A., & Judell, M. (2023). *bashtage/arch (Release 5.1.0)*. DOI: 10.5281/zenodo.7975104
- Xia, F., Liu, J., Nie, H., Fu, Y., Wan, L., & Kong, X. (2020). Random walks: A review of algorithms and applications. *IEEE Transactions on Emerging Topics in Computational Intelligence*, 4(2), 95-107. DOI: 10.1109/TETCI.2019.2952908
- Zeren, F., & Konuk, F. (2013). Testing the random walk hypothesis for emerging markets: Evidence from linear and non-linear unit root tests. *Romanian Economic and Business Review*, 8(4), 61-72.

Wkład autorów: Jerzy Korczak – 50%; Filip Wójcik – 50%.

Konflikt interesów: Brak konfliktu interesów.

Źródła finansowania: Brak finansowania.

RANDOM WALK TESTS AND FOREX MARKET PREDICTION

Abstract: This paper aims to analyze and evaluate price stability in the foreign exchange market (Forex) by testing the random walk hypothesis. The study explores the Efficient Market Hypothesis (EMH) alongside the random walk theory, highlighting the challenges inherent in forecasting currency prices. The research specifically focuses on the EUR/USD currency pair, testing the random walk hypothesis and price stability across different quote frequencies. The null hypothesis was verified using several methods, including the MacKinlay variance ratio test, the augmented Dickey-Fuller test (ADF), and the simultaneous KPSS test (Kwiatkowski, Phillips, Schmidt, Shin). The experimental results are ambiguous, revealing variations based on data resolution and applied methods. The rejection of the random walk hypothesis at higher data frequencies suggests the potential for price prediction, while lower frequency data do not exhibit these characteristics. The paper underscores the importance of verifying the random walk hypothesis and discusses its practical implications for developing predictive models in the Forex market, with particular attention to the differences arising from various analytical methods and data aggregation.

Keywords: analysis of financial time series, methods of hypothesis verification, methodology of building predictive models, Forex market quotations, random walk theory

Articles published in the journal are made available under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International Public License. Certain rights reserved for the Czestochowa University of Technology.

