

Własności szeregów czasowych stóp zwrotu z inwestycji w metale nieżelazne*

Paulina Król

Uniwersytet Ekonomiczny w Katowicach

e-mail: paulina.krol@edu.uekat.pl

ORCID: 0000-0002-5016-3620

© 2024 Paulina Król

Praca opublikowana na licencji Creative Commons Uznanie autorstwa-Na tych samych warunkach 4.0 Międzynarodowe (CC BY-SA 4.0). Skrócona treść licencji na <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/deed.pl>

Cytuj jako: Król, P. (2024). Własności szeregów czasowych stóp zwrotu z inwestycji w metale nieżelazne. *Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu*, 68(3), 28-40.

DOI: 10.15611/pn.2024.3.03

JEL: G19, Q31

Streszczenie

Cel: Celem artykułu jest identyfikacja własności szeregów czasowych stóp zwrotu z inwestycji w wybrane metale nieżelazne z uwzględnieniem aktualnej niestabilnej sytuacji gospodarczej oraz geopolitycznej, jak również porównanie własności analizowanych szeregów czasowych.

Metodyka: W artykule zastosowano wybrane metody statystyczne oraz ekonometryczne, metody inżynierii finansowej oraz analiz szeregów czasowych. Przedstawiono kształtowanie się cen i stóp zwrotu metali nieżelaznych (aluminium, cyny, cynku, miedzi, niklu i ołowiu) w latach 2015-2023, wyznaczono podstawowe statystyki szeregów czasowych oraz zweryfikowano normalność i stacjonarność rozkładów empirycznych.

Wyniki: Najwyższy dochód przynosiły inwestycje w miedź, a najniższy – w ołów. Wszystkie szeregi czasowe cechowały się dodatnią historyczną stopą zwrotu. Stopy zwrotu z inwestycji w nikiel charakteryzowały się największą zmiennością. Rozkłady stóp zwrotu z inwestycji w miedź i cynę były lewostronnie asymetryczne, pozostałe szeregi zaś prawostronnie asymetryczne. Wszystkie empiryczne rozkłady szeregów czasowych nie były zbieżne z rozkładem normalnym, jednak wykazywały stacjonarność.

Implikacje i rekomendacje: Osoby pracujące w sektorach związanych z metalami nieżelaznymi oraz inwestorzy powinni być zainteresowani znajomością własności stóp zwrotu z inwestycji w metale nieżelazne. Może to pomóc im w trafniejszym prognozowaniu cen metali nieżelaznych, a w efekcie – w dokonywaniu bardziej optymalnych transakcji na rynku.

Oryginalność/wartość: W artykule zweryfikowano własności stóp zwrotu z inwestycji w metale nieżelazne wobec wysokiej zmienności panującej w ostatnich latach na rynku metali.

Słowa kluczowe: metale nieżelazne, pandemia COVID-19, wojna w Ukrainie, szeregi czasowe, inwestycje alternatywne

* Dofinansowano ze środków Ministra Nauki w ramach programu „Regionalna inicjatywa doskonałości”.

1. Wstęp

Metale nieżelazne są istotne w wielu obszarach gospodarki, a ceny tych metali w znacznym stopniu reagują na sytuacje kryzysowe, takie jak wojny i konflikty regionalne, jak również zmiany sytuacji politycznej (Yang i in., 2023, s. 2). Zmienność cen, utrudniająca trafne prognozowanie cen metali, zakłóca działalność wielu sektorów, ze względu na większe ryzyko związane z ich działalnością. Charakterystyka zmienności cen metali jest istotna dla inwestorów, którzy dzięki jej poznaniu będą mogli podejmować bardziej optymalne decyzje i zmniejszyć ryzyko inwestycyjne (Sun i in., 2023, s. 1142). Dla nich znajomość tej charakterystyki przełoży się na wyższe stopy zwrotu z inwestycji w metale nieżelazne. Yang i in. (2023, s. 2) zwracają uwagę, że prognozowanie cen metali nieżelaznych jest trudne, jednak istotne dla zrównoważonego funkcjonowania gospodarki. Zagadnienie to jest jeszcze bardziej ważne ze względu na obecne uwarunkowania na świecie, które obfitują w sytuacje kryzysowe – takie jak pandemia COVID-19 oraz wojna w Ukrainie. W ostatnich latach sytuacja na rynku metali jest dynamiczna, co utrudnia prognozowanie ich cen.

Do trafnego prognozowania cen metali nieżelaznych niezbędne jest poznanie własności szeregów czasowych cen i stóp zwrotu z inwestycji w metale nieżelazne, by na ich podstawie tworzyć prognozy obarczone jak najmniejszym błędem. Do podstawowych własności szeregów czasowych zalicza się rozkład empiryczny szeregu czasowego oraz stacjonarność procesu.

Znajomość rozkładu empirycznego procesu jest ważna, między innymi ze względu na fakt, że w wielu modelach zakłada się normalność rozkładu. Informacja o zgodności rozkładu empirycznego z rozkładem normalnym wyznacza więc dalszy kierunek poszukiwania właściwego modelu. W przypadku rozkładu empirycznego niezgodnego z rozkładem normalnym kierunkiem dalszych badań będzie nie tylko wybór właściwego modelu, ale także poszukiwanie rozkładu teoretycznego zgodnego z rozkładem empirycznym, co pomoże w lepszym modelowaniu badanego zjawiska. Znajomość empirycznego rozkładu szeregu jest również pomocna przy wyznaczaniu prawdopodobnego poziomu dochodu z inwestycji, a także poziomu ryzyka, jakie wiąże się z daną inwestycją (Piasecki i Tomasiak, 2013, s. 30-32).

Informacja na temat stacjonarności rozkładu empirycznego jest również pomocna przy doborze właściwego modelu opisującego zjawisko. Do opisu zjawisk niestacjonarnych stosuje się inne modele niż do opisu zjawisk stacjonarnych. Przykładem mogą być często wykorzystywane w analizie szeregów czasowych modele autoregresyjne. W przypadku braku stacjonarności rozkładu empirycznego podczas budowy modelu dokonuje się różnicowania procesu w celu doprowadzenia go do stacjonarności (Osińska, 2007, s. 299-300). Doprowadzenie procesów niestacjonarnych do stacjonarności jest ważne, gdyż estymacja parametrów procesu niestacjonarnego metodami zakładającymi stacjonarność procesu może prowadzić do fałszywych wyników i wniosków (Strojny, 2020, s. 72).

Celem artykułu jest identyfikacja własności szeregów czasowych stóp zwrotu z inwestycji w wybrane metale nieżelazne z uwzględnieniem aktualnej niestabilnej sytuacji gospodarczej oraz geopolitycznej, jak również porównanie własności analizowanych szeregów czasowych. Sformułowano następujące hipotezy badawcze:

- H₁: Rozkłady empiryczne szeregów czasowych logarytmicznych stóp zwrotu z inwestycji w metale nieżelazne w badanym okresie nie były zgodne z rozkładem normalnym.
- H₂: Wszystkie badane szeregi czasowe logarytmicznych stóp zwrotu z inwestycji w metale nieżelazne w badanym okresie były stacjonarne.

Zakres podmiotowy badania dotyczy szeregów czasowych cen i stóp zwrotu, a przedmiotowy – metali nieżelaznych: aluminium, miedzi, cynku, cyny, niklu i ołowiu. Zakres przestrzenny badania objął Londyńską Giełdę Metali (LME), natomiast czasowy – okres od 01 stycznia 2015 do 31 grudnia 2023 r.

Strukturę artykułu podporządkowano realizacji powyższego celu. W pierwszej części dokonano przeglądu literatury odnoszącej się do aktualnej sytuacji na rynku metali nieżelaznych. Następnie opisano zastosowaną metodę badawczą. W kolejnej części przedstawiono wyniki analizy szeregów czasowych cen i stóp zwrotu z inwestycji w metale nieżelazne w okresie 01.01.2015-31.12.2023 r.

2. Przegląd literatury

Metale nieżelazne mają wiele różnorodnych zastosowań, co generuje wysoki popyt na te surowce. Popyt na metale ciągle rośnie, ponieważ wraz ze wzrostem zamożności i postępowaniem technicznym i technologicznym wzrasta zarówno zapotrzebowanie wynikające z dotychczasowych zastosowań tych metali, jak i kreowane jest zapotrzebowanie związane z nowymi ich zastosowaniami (Charpentier Poncelet i in., 2022, s. 2). Prognozuje się np. spadek podaży miedzi przy równoczesnym wysokim popycie na ten metal, spowodowanym m.in. popularyzacją pojazdów elektrycznych oraz szerszym wykorzystaniem odnawialnych źródeł energii (Galán-Gutiérrez i Martín-García, 2022, s. 17). Jedynym metalem nieżelaznym, którego znaczenie zmalało, jest rtęć (Paulo i Strzelska-Smakowska, 2020, s. 9). Znaczenie metali nieżelaznych potwierdza wpisanie niektórych z nich na listę surowców krytycznych i strategicznych. Do surowców krytycznych, czyli takich, które są istotne dla gospodarki Unii Europejskiej, jednak ich dostawy są obciążone wysokim ryzykiem, Parlament i Rada Europejska zakwalifikowali miedź oraz nikiel. Te same metale nieżelazne zakwalifikowali jako surowce strategiczne, czyli niezbędne w wielu istotnych sektorach gospodarki, w tym w przemyśle cyfrowym, sektorach energii ze źródeł odnawialnych, obronnym, opieki zdrowotnej czy też kosmicznym (European Commission i in., s. 1, 1-4 (zał.)).

Na dużą zmienność cen wpłynęła pandemia COVID-19. W czasie jej trwania popyt na metale zmalał, przez co spadły ich ceny. Następnie jednak ceny ponownie wzrosły, już w 2021 r. Przypuszcza się, że wysoka zmienność cen może zwiększyć możliwości inwestorów na rynku czystej energii, co może doprowadzić do wzrostu popytu na metale, np. miedź, a także do przechodzenia z wykorzystywania paliw kopalnych na czystą energię (Cunado i in., 2024, s. 2). Podczas pandemii COVID-19 ceny wszystkich metali szlachetnych ulegały znacznym wahaniom, a tendencje tych wahań były dodatnio skorelowane (Ghazani i in., 2023, s. 14). Na zmiany cen miedzi podczas pandemii COVID-19, ze względu na zapasy magazynowe miedzi, zwracają również uwagę Galán-Gutiérrez i Martín-García (2022, s. 17). Zauważają oni też zależność pomiędzy ceną miedzi a liczbą zgonów na COVID-19.

Wojna w Ukrainie również przyczyniła się do wzrostu zmienności cen metali nieżelaznych. Rosja była istotnym graczem na rynku metali nieżelaznych, w związku z czym ograniczenia w handlu zastosowane przez Stany Zjednoczone oraz Unię Europejską, doprowadziły do zaburzeń na rynku metali (Jung, 2023, s. 621). Zhang i Zeng (2023, s. 13) wskazują na niekorzystne reakcje szoków naftowych wpływających na popyt i podaż metali nieżelaznych, które mogą przełożyć się również na zmiany cen tych metali.

Rynki kontraktów terminowych na metale są złożone, trudne do zrozumienia i opisanie (Sun i in., 2023, s. 1142). Pogłębiają to wahania cen metali nieżelaznych. Jest to tym istotniejsze, że wahania cen mają istotny wpływ nie tylko na rozwój poszczególnych branż, ale także na handel międzynarodowy kraju (Yang i in., 2023, s. 2). Co więcej, niektóre metale nieżelazne mają duże znaczenie w kształtowaniu się cen innych surowców. Podkreśla się np. znaczenie miedzi jako surowca ważnego przy badaniu zależności pomiędzy dwuwymiarowymi szeregami czasowymi wybranych metali. Wskazuje się również na powiązanie cen złota z cenami miedzi i pełnienie przez złoto funkcji pośrednika informacji pomiędzy cenami miedzi a cenami innych surowców ze względu na jego centralną rolę (Ghazani i in., 2023, s. 14). Z drugiej strony, Akhtaruzzaman i in. (2024, s. 660) opisujący wpływ inwestowania w metale szlachetne w celach zabezpieczających inwestycje stwierdzają, że pomimo powiązania cen metali szlachetnych z cenami miedzi inwestycje w metale szlachetne podnoszą bezpieczeństwo inwestycji.

3. Metodyka badań

W badaniu zastosowano metody statystyczne, które pozwoliły na poznanie własności szeregów czasowych cen i stóp zwrotu z inwestycji w metale nieżelazne.

Na początkowym etapie badania wykorzystano elementy inżynierii finansowej. Zastosowano je w celu obliczenia stóp zwrotu, czyli procentowej miary określającej dochód, jaki przypada na jednostkę zainwestowanego kapitału (Pera i in., 2014, s. 10-12). Własności stóp zwrotu i metody ich obliczania zostały opisane m.in. przez Bednarz-Okrzyńską (2019, s. 54-55). W badaniu posłużono się logarytmiczną stopą zwrotu z inwestycji.

Następnie scharakteryzowano szeregi czasowe stóp zwrotu z inwestycji w metale nieżelazne za pomocą miar statystyki opisowej. Miary te zostały przedstawione m.in. przez Ostasiewicz i in. (2006, s. 58-85). W tym celu posłużono się miarami klasycznymi, takimi jak: średnia arytmetyczna, odchylenie standardowe, współczynnik zmienności, wartość minimalna, wartość maksymalna i kurtoza, a także miarami pozycyjnymi: medianą, rozstępem oraz skośnością.

W kolejnym etapie zastosowano elementy statystyki matematycznej i zweryfikowano zgodność empirycznych rozkładów szeregów czasowych stóp zwrotu z inwestycji w metale nieżelazne z rozkładem normalnym. Rozkład normalny, nazywany również gaussowskim, jest rozkładem typu ciągłego (Krysicki i in., 2012a, s. 100). Funkcja gęstości rozkładu normalnego jest symetryczna, a wartość maksymalną osiąga w punkcie równym wartości średniej. Dodatkowo wartość średniej arytmetycznej jest równa wartości mediany, a prawdopodobieństwo tego, że zmienna X przyjmuje wartości z przedziału ± 3 odchylenia standardowe od średniej arytmetycznej, jest w przybliżeniu równe 1 (Ostasiewicz i in., 2006, s. 170). Rozkład normalny został opisany przez Ostasiewicz i in. (2006, s. 170-173).

Weryfikację zgodności rozkładu przeprowadzono za pomocą testów Shapiro-Wilka oraz Kołmogorowa-Smirnowa.

Test Shapiro-Wilka ze statystyką W służy do weryfikacji zgodności rozkładu empirycznego z rozkładem normalnym. Hipotezy testu są następujące (Krysicki i in., 2012b, s. 119):

H_0 : rozkład empiryczny jest zgodny z teoretycznym rozkładem normalnym.

H_1 : rozkład empiryczny nie jest zgodny z teoretycznym rozkładem normalnym.

Test Shapiro-Wilka został opisany w literaturze (Krysicki i in., 2012b, s. 119-120).

Do weryfikacji zgodności rozkładu empirycznego z rozkładem normalnym służy również test Kołmogorowa-Smirnowa. Hipotezy testu są następujące (Ostasiewicz i in., 2006, s. 317):

H_0 : rozkład empiryczny jest zgodny z teoretycznym rozkładem normalnym.

H_1 : rozkład empiryczny nie jest zgodny z teoretycznym rozkładem normalnym.

Test Kołmogorowa-Smirnowa został opisany w literaturze (Ostasiewicz i in., 2006, s. 317-318).

Testy zgodności rozkładu normalnego przeprowadzono na poziomie istotności równym 0,05.

Wykorzystano również elementy ekonometrii w celu zbadania stacjonarności rozkładów szeregów czasowych stóp zwrotu z inwestycji w metale nieżelazne. Rozkład jest stacjonarny, jeśli średnia i wariancja rozkładu są stałe w czasie, a kowariancja zależy od różnicy chwil pomiędzy obserwacjami, a nie od czasu (Osińska, 2007, s. 254). Posłużono się testami ADF oraz KPSS.

Test ADF służy do weryfikacji stacjonarności rozkładu. Hipotezy testu są następujące (Syczewska, 2006, s. 210-211):

H_0 : występuje pierwiastek jednostkowy.

H_1 : pierwiastek jednostkowy nie występuje.

Test ADF został opisany w literaturze (Syczewska, 2006, s. 210-211).

Do weryfikacji stacjonarności rozkładu można wykorzystać również test Kwiatkowskiego-Phillipsa-Schmidta-Shina (test KPSS). Hipotezy testu są następujące (Syczewska, 2006, s. 210):

H_0 : badany rozkład jest rozkładem stacjonarnym.

H_1 : badany rozkład nie jest rozkładem stacjonarnym.

Test KPSS został opisany w literaturze (Syczewska, 2006, s. 210).

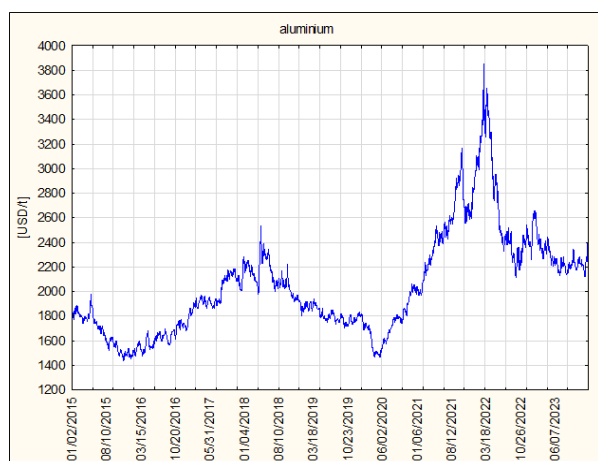
Testy stacjonarności rozkładu przeprowadzono na poziomie istotności równym 0,05.

Wszystkie dane pobrano ze strony investing.com. Większość obliczeń oraz wykresy przygotowano w programie *Statistica*. Wyjątkiem są obliczenia dotyczące stacjonarności rozkładu, które przeprowadzono z wykorzystaniem programu *Gretl*.

4. Rezultaty badań

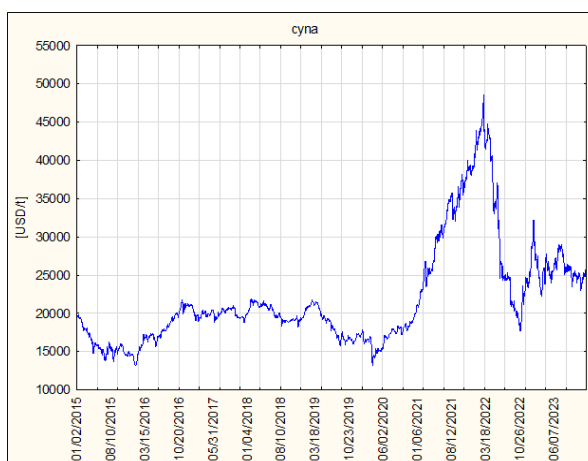
4.1. Kształtowanie się cen i stóp zwrotu z inwestycji w metale nieżelazne

W badanym okresie wykresy cen metali nieżelaznych znacznie się różniły ze względu na poziom zmienności cen. Kształtowanie się cen metali nieżelaznych w latach 2015-2023 przedstawiono na rys. 1-6.



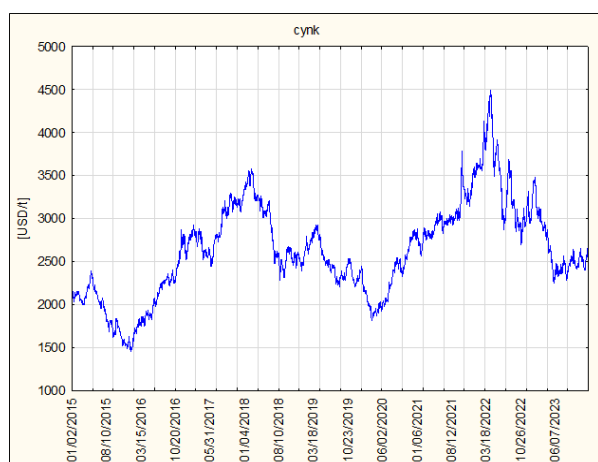
Rys. 1. Ceny aluminium w latach 2015-2023

Źródło: opracowanie własne na podstawie:
<https://pl.investing.com>.



Rys. 2. Ceny cyny w latach 2015-2023

Źródło: opracowanie własne na podstawie:
<https://pl.investing.com>.



Rys. 3. Ceny cynku w latach 2015-2023

Źródło: opracowanie własne na podstawie:
<https://pl.investing.com>.



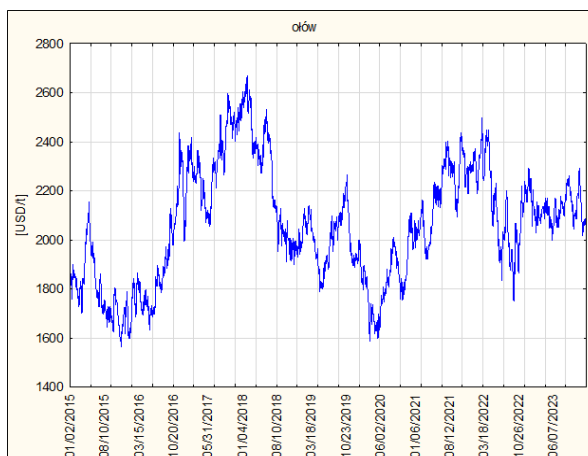
Rys. 4. Ceny miedzi w latach 2015-2023

Źródło: opracowanie własne na podstawie:
<https://pl.investing.com>.



Rys. 5. Ceny niklu w latach 2015-2023

Źródło: opracowanie własne na podstawie:
<https://pl.investing.com>.

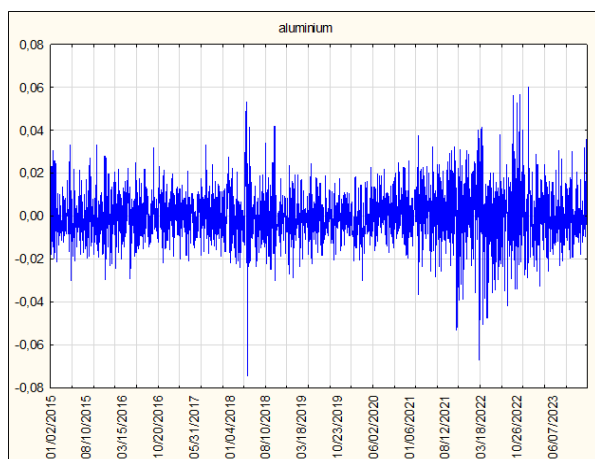


Rys. 6. Ceny ołowiu w latach 2015-2023

Źródło: opracowanie własne na podstawie:
<https://pl.investing.com>.

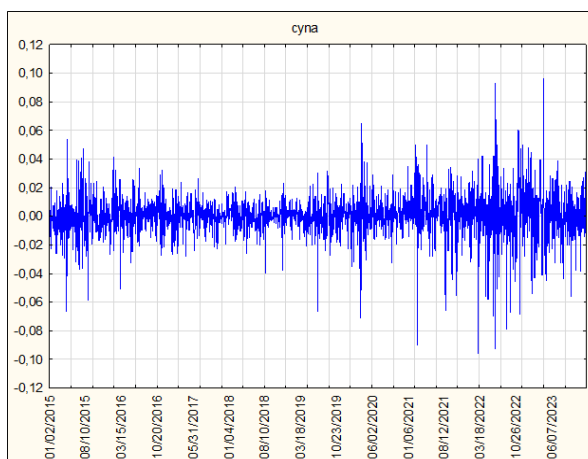
Rynek sprzedaży aluminium, cynku, miedzi i ołowiu zareagował na kryzys finansowy w 2018 r. – ceny tych surowców wzrosły. Na kryzys zareagował również rynek niklu, co nie jest w pierwszym momencie widoczne na wykresie ze względu na ekstremalnie wysokie poziomy cen w 2022 r. Rynki wszystkich analizowanych metali nieżelaznych zareagowały również na początek pandemii COVID-19 spadkiem cen, a także na wojnę w Ukrainie – ich wzrostem. W 2022 roku ceny aluminium, cyny, cynku i niklu gwałtownie wzrosły, a następnie gwałtownie spadły. W tym czasie ceny miedzi również gwałtownie wzrosły, jednak dłużej utrzymywały się na wysokim poziomie. W tym czasie jedynie ceny ołowiu nie odnotowały gwałtownego wzrostu.

Na podstawie dziennych cen zamknięcia metali nieżelaznych obliczono logarytmiczne stopy zwrotu z inwestycji w poszczególne metale nieżelazne (rys. 7-12).



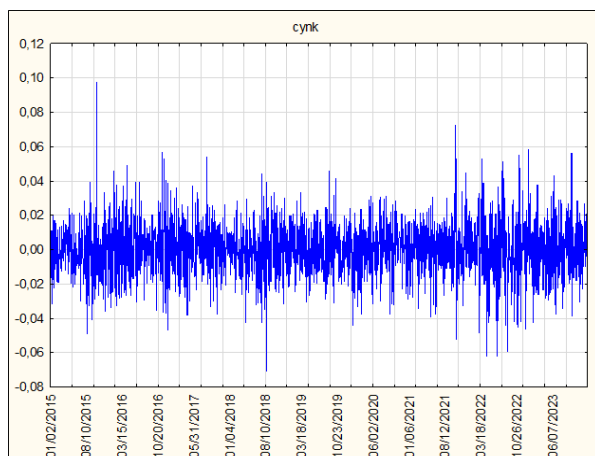
Rys. 7. Stopy zwrotu z inwestycji w aluminium w latach 2015-2023

Źródło: opracowanie własne na podstawie:
<https://pl.investing.com>.



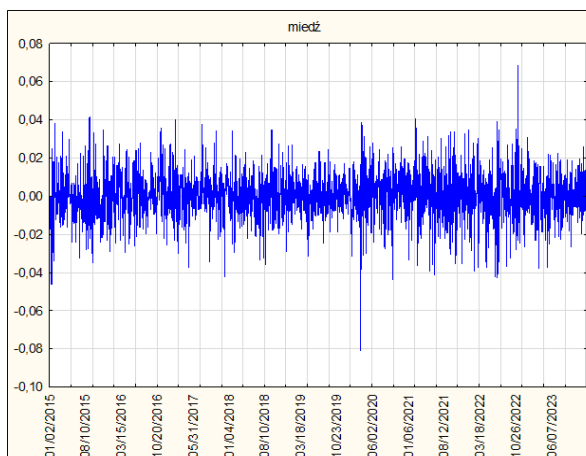
Rys. 8. Stopy zwrotu z inwestycji w cynę w latach 2015-2023

Źródło: opracowanie własne na podstawie:
<https://pl.investing.com>.



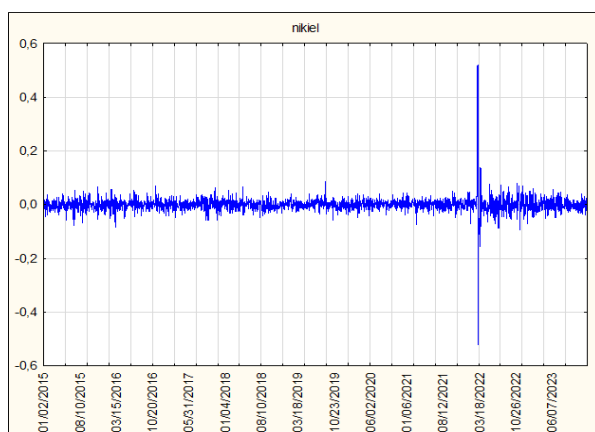
Rys. 9. Stopy zwrotu z inwestycji w cynk w latach 2015-2023

Źródło: opracowanie własne na podstawie: <https://pl.investing.com>.



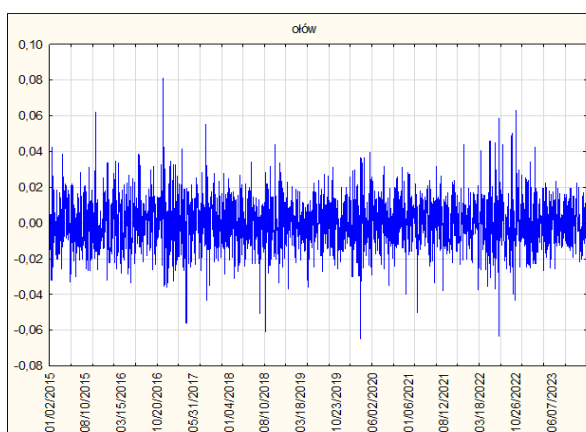
Rys. 10. Stopy zwrotu z inwestycji w miedź w latach 2015-2023

Źródło: opracowanie własne na podstawie: <https://pl.investing.com>.



Rys. 11. Stopy zwrotu z inwestycji w nikiel w latach 2015-2023

Źródło: opracowanie własne na podstawie: <https://pl.investing.com>.



Rys. 12. Stopy zwrotu z inwestycji w ołów w latach 2015-2023

Źródło: opracowanie własne na podstawie: <https://pl.investing.com>.

Wysoki poziom zmienności stóp zwrotu z inwestycji w aluminium można było zaobserwować w latach 2018 oraz 2022. Wysoką zmienność stóp zwrotu z inwestycji w miedź można było zaobserwować w latach 2020 oraz 2022. Największa zmienność stóp zwrotu z inwestycji w cynk wystąpiła w latach: 2015, 2018 oraz 2021-2022, a w cynę – w latach 2015 oraz 2019-2022. Stopy zwrotu z inwestycji w nikiel cechowały się największą zmiennością w 2022 r., jednak większa zmienność była zauważalna również w latach 2018 i 2019. Wysoki poziom zmienności stóp zwrotu z inwestycji w ołów można było zaobserwować w latach 2016-2017, 2018, 2021 oraz 2022.

4.2. Własności szeregów czasowych stóp zwrotu z inwestycji w metale nieżelazne

W latach 2015-2023 wyróżniono 2272 stopy zwrotu z inwestycji w aluminium, cynę, cynk i miedź, 2271 stóp zwrotu z inwestycji w ołów oraz 2269 stóp zwrotu z inwestycji w nikiel. Własności statystyczne tych szeregów czasowych przedstawiono w tab. 1.

Tabela 1. Własności statystyczne stóp zwrotu z inwestycji w metale nieżelazne

Statystyka \ Metal	Aluminium	Cyna	Cynk	Miedź	Nikiel	Ołów
Średnia	0,000117	0,000110	0,000083	0,000138	0,000049	0,000045
Mediana	-0,000191	0,000669	0,000359	0,000281	0,000453	0,000133
Minimum	-0,074403	-0,095814	-0,070802	-0,080740	-0,522884	-0,064577
Maksimum	0,060432	0,096359	0,097666	0,068737	0,522260	0,081586
Rozstęp	0,134836	0,192173	0,168468	0,149477	1,045144	0,146163
Odchylenie standardowe	0,012675	0,015289	0,015839	0,012654	0,028254	0,014122
Współczynnik zmienności	108,44%	139,45%	191,78%	91,45%	575,23%	316,23%
Skośność	0,057275	-0,605292	0,057807	-0,163865	2,438414	0,132940
Kurtoza	2,392840	5,970756	1,520133	1,848358	149,238753	1,622726

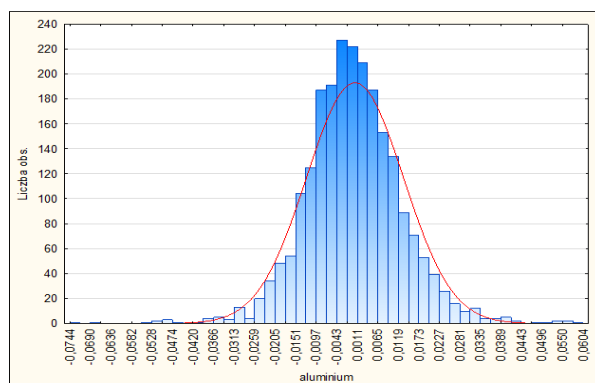
Źródło: opracowanie własne na podstawie: <https://pl.investing.com>.

W badanym okresie przeciętnie najwyższy dochód przynosiły inwestycje w miedź (0,000138), a najniższy – w ołów (0,000045). Inwestycje we wszystkie metale były przeciętnie opłacalne. Jednak biorąc pod uwagę medianę, można zapisać wniosek, iż to inwestycje w cynę (0,000669) były najbardziej opłacalne. Można zauważyć również, że co najmniej 50% stóp zwrotu z inwestycji aluminium miało wartość mniejszą lub równą $-0,000209$ i równocześnie co najmniej 50% tych stóp było większych lub równych temu poziomowi, co może sugerować, że pomimo dodatniej wartości średniej arytmetycznej, stopy zwrotu z inwestycji w aluminium często osiągały wartości ujemne. Stopy zwrotu z inwestycji w nikiel osiągnęły zarówno najniższy poziom ($-0,522884$), co wydarzyło się 09.03.2022, jak i najwyższy poziom (0,522260) w dniu 08.03.2022.

Stopy zwrotu z inwestycji w nikiel cechowały się również największą zmiennością. Ich wartości odchyłały się od średniej o przeciętnie $\pm 0,028254$. Ich wysoką zmienność potwierdza również wysoka wartość rozstępu (1,045144) i współczynnika zmienności (575,23%). Najmniejszą zmiennością cechowały się natomiast stopy zwrotu z inwestycji w aluminium, których rozstęp wyniósł 0,134836, oraz miedzi, których wartości odchyłały się przeciętnie o średniej o $\pm 0,012654$, a współczynnik zmienności był równy 91,45%.

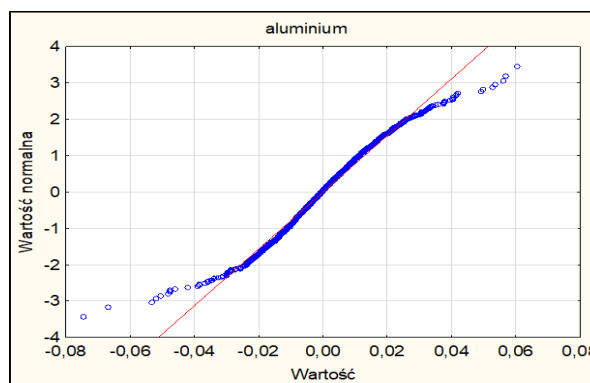
Rozkłady stóp zwrotu z inwestycji w miedź i cynę były lewostronnie asymetryczne, w badanym okresie przeważały więc ujemne stopy zwrotu. W pozostałych przypadkach szeregi były prawostronnie asymetryczne. We wszystkich szeregach czasowych zaobserwowano leptokurtozę, więc wartości stóp zwrotu były znacznie skoncentrowane wokół wartości średniej.

Przedstawione powyżej statystyki mogą sugerować, że rozkłady stóp zwrotu z inwestycji w metale nieżelazne nie są zgodne z rozkładem normalnym. Zweryfikowano to za pomocą testów normalności rozkładu (tab. 2) oraz histogramów i wykresów kwantylowych (rys. 13-24).



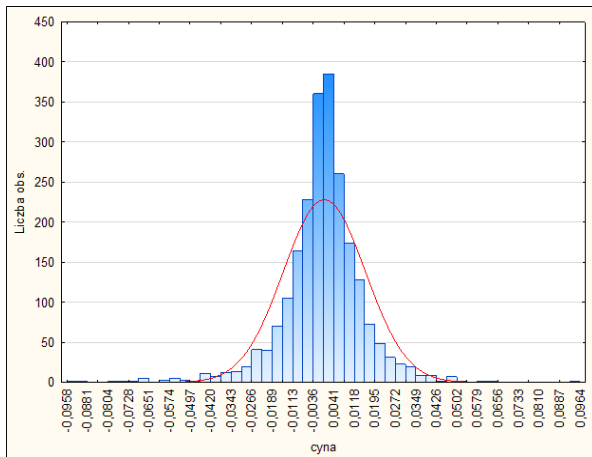
Rys. 13. Histogram stóp zwrotu z inwestycji w aluminium

Źródło: opracowanie własne na podstawie: <https://pl.investing.com>.



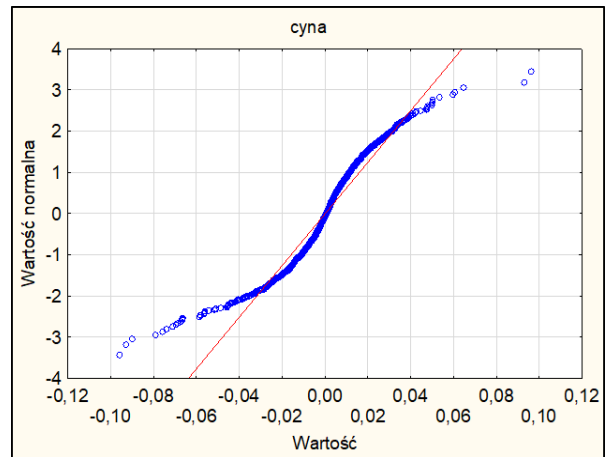
Rys. 14. Wykres kwantylowy stóp zwrotu z inwestycji w aluminium

Źródło: opracowanie własne na podstawie: <https://pl.investing.com>.



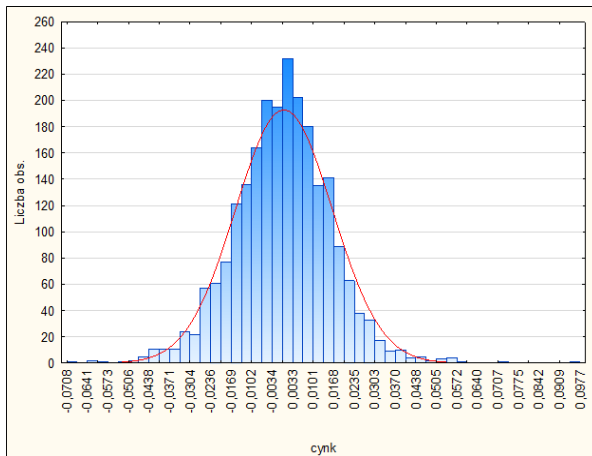
Rys. 15. Histogram stóp zwrotu z inwestycji w cynę

Źródło: opracowanie własne na podstawie: <https://pl.investing.com>.



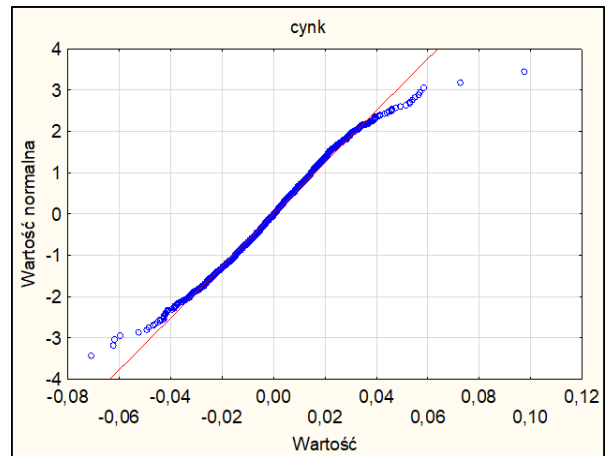
Rys. 16. Wykres kwantylowy stóp zwrotu z inwestycji w cynę

Źródło: opracowanie własne na podstawie: <https://pl.investing.com>.



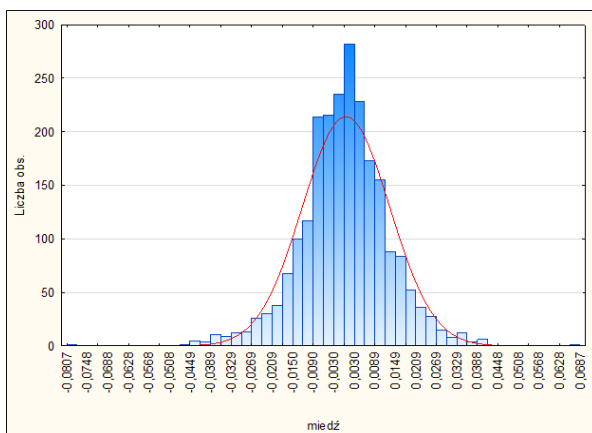
Rys. 17. Histogram stóp zwrotu z inwestycji w cynk

Źródło: opracowanie własne na podstawie: <https://pl.investing.com>.



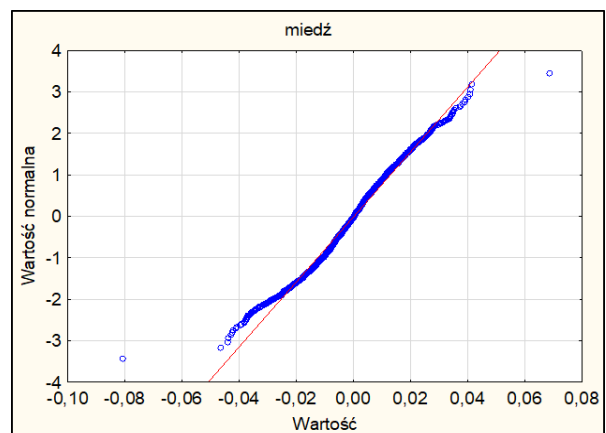
Rys. 18. Wykres kwantylowy stóp zwrotu z inwestycji w cynk

Źródło: opracowanie własne na podstawie: <https://pl.investing.com>.



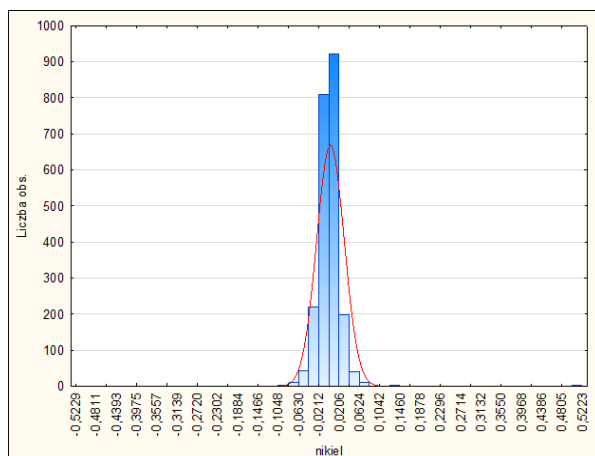
Rys. 19. Histogram stóp zwrotu z inwestycji w miedź

Źródło: opracowanie własne na podstawie: <https://pl.investing.com>.



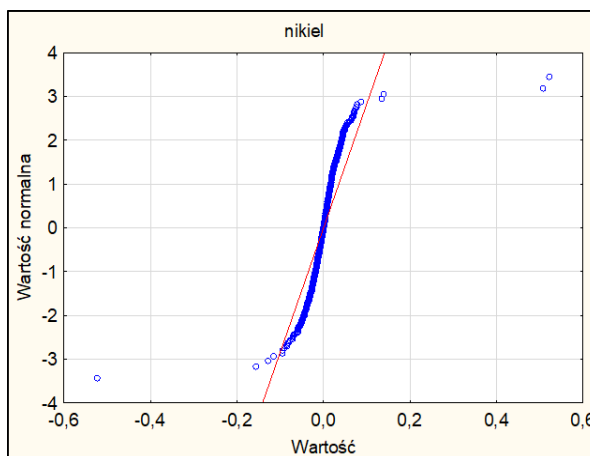
Rys. 20. Wykres kwantylowy stóp zwrotu z inwestycji w miedź

Źródło: opracowanie własne na podstawie: <https://pl.investing.com>.



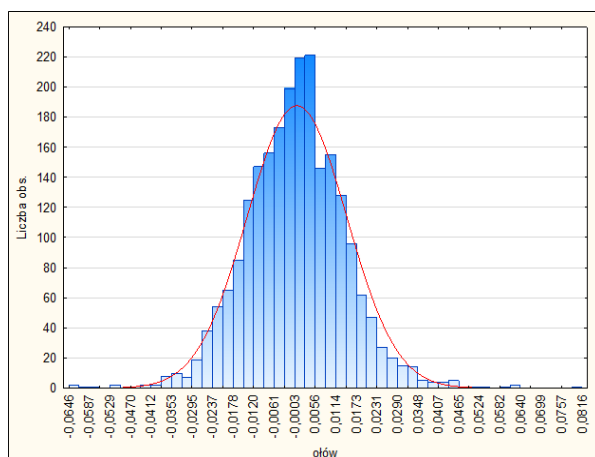
Rys. 21. Histogram stóp zwrotu z inwestycji w nikiel

Źródło: opracowanie własne na podstawie: <https://pl.investing.com>.



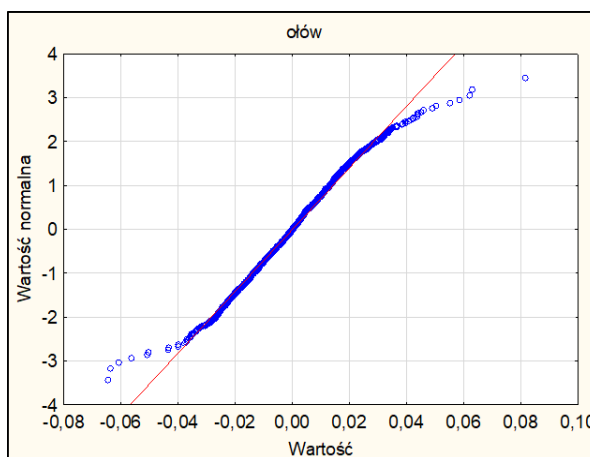
Rys. 22. Wykres kwantylowy stóp zwrotu z inwestycji w nikiel

Źródło: opracowanie własne na podstawie: <https://pl.investing.com>.



Rys. 23. Histogram stóp zwrotu z inwestycji w ołów

Źródło: opracowanie własne na podstawie: <https://pl.investing.com>.



Rys. 24. Wykres kwantylowy stóp zwrotu z inwestycji w ołów

Źródło: opracowanie własne na podstawie: <https://pl.investing.com>.

Tabela 2. Testy normalności rozkładów stóp zwrotu z inwestycji w metale nieżelazne

Test	Aluminium	Cyna	Cynk	Miedź	Nikiel	Ołów
Shapiro-Wilka	W=0,978 p<0,01	W=0,9186 p<0,01	W=0,9894 p<0,01	W=0,9836 p<0,01	W=0,6488 p<0,01	W=0,9879 p<0,01
K-S	D=0,0365 p<0,01	D=0,0907 p<0,01	D=0,0262 p<0,1	D=0,0456 p<0,01	D=0,1226 p<0,01	D=0,0228 p<0,05

Źródło: opracowanie własne na podstawie: <https://pl.investing.com>.

Na rysunkach 13-24 można zauważyć, że rozkłady empiryczne stóp zwrotu z inwestycji we wszystkie analizowane metale nieżelazne nie są zbieżne z teoretycznym rozkładem normalnym. Wartości wszystkich rozkładów są bardziej skupione wokół średniej, niż ma to miejsce w rozkładzie normalnym, co potwierdzają wartości kurtozy dla poszczególnych szeregów czasowych. Rozkład anormalny stóp zwrotu z inwestycji w metale nieżelazne potwierdzają również testy zgodności rozkładu empirycznego z rozkładem normalnym. W przypadku wszystkich badanych metali wartość p jest mniejsza od przyjętego poziomu istotności 0,05. W związku z tym we wszystkich przypadkach należy odrzucić hipotezę zerową na rzecz hipotezy alternatywnej. Rozkłady logarytmicznych stóp zwrotu z inwestycji

w metale nieżelazne nie są więc zgodne z rozkładem normalnym. Tym samym pierwszą hipotezę badawczą zweryfikowano pozytywnie.

Oprócz rozkładu empirycznego badanych zmiennych, za pomocą testów ADF oraz KPSS, zweryfikowano również stacjonarność rozkładów. Wyniki testów przedstawiono w tab. 3.

Tabela 3. Testy stacjonarności rozkładów stóp zwrotu z inwestycji w metale nieżelazne

Test	Aluminium	Cyna	Cynk	Miedź	Nikiel	Ołów
ADF	ADF=-46,1323 p=0,0001	ADF=-14,4019 p<0,001	ADF=-48,0595 p=0,0001	ADF=-17,1455 p<0,001	ADF=-15,9041 p<0,001	ADF=-35,3418 p<0,01
KPSS	KPSS=0,0740 p>0,10	KPSS=0,0908 p>0,10	KPSS=0,0736 p>0,10	KPSS=0,0972 p>0,10	KPSS=0,1002 p>0,10	KPSS=0,0419 p>0,10

Źródło: opracowanie własne na podstawie: <https://pl.investing.com>.

W przypadku wszystkich badanych rozkładów stóp zwrotu z inwestycji dla testu ADF należy odrzucić hipotezę zerową na rzecz hipotezy alternatywnej głoszącej, iż występuje pierwiastek jednostkowy. Natomiast test KPSS nie daje podstaw do odrzucenia hipotezy zerowej, na poziomie istotności 0,05 można zatem przyjąć, że badane rozkłady są rozkładami stacjonarnymi. Oba testy potwierdziły stacjonarność rozkładów, w związku z tym rozkłady stóp zwrotu z inwestycji w badane metale nieżelazne są stacjonarne. Druga hipoteza badawcza została więc potwierdzona.

5. Dyskusja i wnioski

Metale nieżelazne są istotne dla prawidłowego oraz zrównoważonego funkcjonowania gospodarki światowej. Ze względu na rosnący popyt na nie i malejącą podaż ich znaczenie rośnie. Co więcej, miedź i nikiel zostały wpisane na listę surowców krytycznych oraz listę surowców strategicznych Parlamentu i Rady Europejskiej. Działalność na rynku metali nieżelaznych utrudnia wysoka zmienność ich cen. Herman i Lach (2022, s. 84) zwracają uwagę, że pandemia COVID-19 wpłynęła na zadłużenie państw. Początek pandemii COVID-19 wpłynął jednak również na spadek cen metali nieżelaznych ze względu na spadający popyt na nie oraz rosnące stany magazynowe tych metali. Z kolei wojna wpłynęła na wzrost cen ze względu na utrudnienia w handlu oraz istotną rolę Rosji na rynku metali nieżelaznych.

Ceny metali nieżelaznych reagowały na wydarzenia gospodarcze, geopolityczne i epidemiczne, więc logarytmiczne stopy zwrotu cechowały się również większą zmiennością. W badanym okresie przeciętnie najwyższy dochód przynosiły inwestycje w miedź, a najniższy – w ołów, jednak wszystkie szeregi czasowe cechowały się przeciętnie dodatnią stopą zwrotu. Zarówno najniższą, jak i najwyższą stopę zwrotu w badanym okresie osiągnęły inwestycje w nikiel. Stopy zwrotu z inwestycji w nikiel charakteryzowały się największą zmiennością. Najmniejszą zmiennością cechowały się stopy zwrotu z inwestycji w aluminium oraz miedź. Rozkłady stóp zwrotu z inwestycji w miedź i cynę były lewostronnie asymetryczne, pozostałe szeregi były prawostronnie asymetryczne. We wszystkich szeregach czasowych zaobserwowano leptokurtozę.

Wszystkie empiryczne rozkłady szeregów czasowych nie były zbieżne z rozkładem normalnym. Dalsze badania powinny być więc poświęcone próbie znalezienia rozkładu teoretycznego zgodnego z rozkładem empirycznym. W swoich badaniach stóp zwrotu Piasecki i Tomasik (2013, s. 32-50) zwracają uwagę na następujące, oprócz normalnego, rozkłady teoretyczne mogące być przydatne do opisu rozkładów empirycznych stóp zwrotu: rozkład *t*-Studenta, rozkłady α -stabilne, uogólniony odwrotny rozkład gaussowski, uogólniony rozkład hiperboliczny, rozkład hiperboliczny, uogólniony hiperboliczny skośny rozkład *t*-Studenta, uogólniony rozkład błędu oraz normalny odwrotny rozkład gaussowski, który został uznany za najlepszy do opisu rozkładu empirycznego stóp zwrotu z inwestycji w instrumenty polskiego rynku kapitałowego. Znalezienie rozkładu teoretycznego zgodnego z rozkładami empirycznymi może przyczynić się również do polepszenia decyzji inwestycyjnych inwestorów (Piasecki i Tomasik, 2013, s. 90-91).

Wszystkie badane empiryczne rozkłady szeregów czasowych stóp zwrotu z inwestycji w metale nieżelazne wykazywały stacjonarność. W związku z tym podczas budowy modelu nie ma konieczności dokonywania różnicowania procesu.

Wyniki zawarte w artykule mogą być użyteczne zarówno dla osób pracujących w sektorach związanych z metalami nieżelaznymi, jak i dla inwestorów. Obie te grupy dążą do optymalizacji swoich decyzji. Znajomość własności stóp zwrotu z inwestycji w metale nieżelazne może pomóc im w trafniejszym prognozowaniu cen metali nieżelaznych, a w efekcie w dokonywaniu bardziej optymalnych transakcji na rynku.

W artykule przedstawiono kształtowanie się cen i stóp zwrotu metali nieżelaznych oraz własności statystyczne szeregów czasowych tych stóp zwrotu w latach 2015-2023. Artykuł jednak nie wyczerpuje badanego zagadnienia. W przyszłości warto przeprowadzić bardziej szczegółowe analizy, identyfikujące inne cechy metali nieżelaznych. Powinno się zidentyfikować zgodność rozkładów empirycznych metali nieżelaznych z innymi, poza normalnym, rozkładami teoretycznymi. Cenne będzie również utworzenie na podstawie znajomości własności szeregów czasowych modelu prognostycznego, w tym modelu autoregresyjnego, cen metali nieżelaznych.

Literatura

- Akhtaruzzaman, M., Banerjee, A. K., Le, V. i Moussa, F. (2024). Hedging Precious Metals with Impact Investing. *International Review of Economics & Finance*, (89), 651-664. <https://doi.org/10.1016/j.iref.2023.07.047>
- Bednarz-Okrzyńska, K. (2019). *Wpływ koniunktury giełdowej na wyniki modelowania empirycznego rozkładu stóp zwrotu z akcji spółek indeksu WIG20*. Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego.
- Charpentier Poncelet, A., Helbig, C., Loubet, P., Beylot, A., Muller, S., Villeneuve, J., Laratte, B., Thorenz, A., Tuma, A. i Sonnemann, G. (2022). Losses and Lifetimes of Metals in the Economy. *Nature Sustainability*, 5(8), 717-726. <https://doi.org/10.1038/s41893-022-00895-8>
- Cunado, J., Gabauer, D. i Gupta, R. (2024). Realized Volatility Spillovers between Energy and Metal Markets: A Time-varying Connectedness Approach. *Financial Innovation*, 10(1), 1-17. <https://doi.org/10.1186/s40854-023-00554-7>
- European Commission, Joint Research Centre, Carrara, S., Bobba, S. i Blagoeva, D. (2023). *Supply chain analysis and material demand forecast in strategic technologies and sectors in the EU: a foresight study*. Publications Office of the European Union. European Commission, Joint Research Centre. <https://data.europa.eu/doi/10.2760/386650>
- Galán-Gutiérrez, J. A. i Martín-García, R. (2022). Fundamentals vs. Financialization during Extreme Events: From Backwardation to Contango, a Copper Market Analysis during the COVID-19 Pandemic. *Mathematics*, 10(4), 1-23. <https://doi.org/10.3390/math10040559>
- Ghazani, M. M., Khosravi, R. i Caporin, M. (2023). Analyzing Interconnection among Selected Commodities in the 2008 Global Financial Crisis and the COVID-19 Pandemic. *Resources Policy*, (80), 1-16. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2022.103157>
- Herman, S. i Lach, B. (2022). Skutki ekonomiczne restrykcyjnego lockdownu jako strategii walki z pandemią. *Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu*, 66(4), 71-86. <https://doi.org/10.15611/pn.2022.4.05>
- Investing.com*. <https://pl.investing.com/>
- Jung, D. S. (2023). Spillover Effects and Connectedness between Oil Futures Markets and Commodity Futures Markets. *Journal of System and Management Sciences*, 13(1), 620-636. <https://doi.org/10.33168/JSMS.2023.0131>
- Krysicki, W., Bartos, J., Dyczka, W., Królikowska, K. i Wasilewski, M. (2012a). *Rachunek prawdopodobieństwa i statystyka matematyczna w zadaniach. Rachunek prawdopodobieństwa, część 1*. Wydawnictwo Naukowe PWN.
- Krysicki, W., Bartos, J., Dyczka, W., Królikowska, K. i Wasilewski, M. (2012b). *Rachunek prawdopodobieństwa i statystyka matematyczna w zadaniach. Statystyka matematyczna, część 2*. Wydawnictwo Naukowe PWN.
- Osińska, M. (red.). (2007). *Ekonometria współczesna*. Towarzystwo Naukowe Organizacji i Kierownictwa „Dom Organizatora”.
- Ostasiewicz, S., Rusnak, Z. i Siedlecka, U. (2006). *Statystyka. Elementy teorii i zadania*. Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej im. Oskara Langego.
- Paulo, A. i Strzelska-Smakowska, B. (2020). *Rudy metali nieżelaznych i szlachetnych*. Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH.
- Pera, K., Buła, R. i Mitrenga, D. (2014). *Modele inwestycyjne*. Wydawnictwo C. H. Beck.
- Piasecki, K. i Tomasiak, E. (2013). *Rozkłady stóp zwrotu z instrumentów polskiego rynku kapitałowego*. Wydawnictwo edu-Libri.
- Strojny, J. (2020). *Wektorowe modele autoregresyjne w analizie zależności między produkcją rolną a wymianą zagraniczną towarów rolno-żywnościowych krajów Unii Europejskiej*. Difin.

- Sun, X., Fang, W., Gao, X., An, S., Wu, T. i Ren, S. (2023). Nonlinear Dynamical Analysis of Metal Futures Price Fluctuations: A Recurrence Quantification Analysis Approach. *Applied Economics*, 55(10), 1142-1155. <https://doi.org/10.1080/00036846.2022.2096864>
- Syczewska, E. M. (2006). The Phillips Method of Fractional Integration Parameter Estimation and Aggregation of PLN Exchange Rates. *Dynamic Econometric Models*, (7), 209-220.
- Yang, S., Yang, W., Zhang, K. i Hao, Y. (2023). A Novel System Based on Selection Strategy and Ensemble Mode for Non-Ferrous Metal Futures Market Management. *Systems*, 11(2), 1-33. <https://doi.org/10.3390/systems11020055>
- Zhang, T. i Zeng, S. (2023). Dynamic Comovement and Extreme Risk Spillovers between International Crude oil and China's Non-Ferrous Metal Futures Market. *Resources Policy*, (80), 1-20. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2022.103263>

Properties of Time Series of Rates of Return on Investments in Non-ferrous Metals

Abstract

Aim: The aim of the paper is to identify the properties of time series of rates of return on investments in selected non-ferrous metals, taking into account the current unstable economic and geopolitical situation, as well as to compare the properties of the analysed time series.

Methodology: The article uses selected statistical and econometric methods, financial engineering methods, and time series analyses. The paper presents the development of prices and rates of return of non-ferrous metals (aluminum, tin, zinc, copper, nickel, and lead) in the years 2015-2023, determines the basic statistics of time series and checks the normality and stationarity of empirical distributions.

Results: Investments in copper brought the highest return and investments in lead the lowest. All time series had a positive historical rate of return. Returns on investments in nickel were characterised by the greatest volatility. The distributions of the rates of return on investments in copper and tin were left-sided asymmetric, the other series were right-sided asymmetric. All empirical time series distributions did not coincide with the normal distribution, but they showed stationarity.

Implications and recommendations: People working in the non-ferrous metals sectors and investors should be interested in knowing the ownership of the rates of return on investments in non-ferrous metals. This can help them to forecast prices of non-ferrous metals more accurately and, as a result, to make more optimal trades in the market.

Originality/value: The article verified the properties of the rates of return on investments in non-ferrous metals in view of the high volatility prevailing in the metals market in recent years.

Keywords: non-ferrous metals, COVID-19 pandemic, war in Ukraine, time series, alternative investments
