

Szkoła Główna Handlowa w Warszawie
Kolegium Analiz Ekonomicznych
Instytut Ekonometrii

Ekonometryczne modelowanie ryzyka kredytowego państw

Konrad Kostrzewa

**Autoreferat rozprawy doktorskiej
napisanej pod kierunkiem naukowym
dr hab. Dobromił Serwa, prof. SGH**

Warszawa, 2023

Przedmiot, cel i zakres pracy	2
Weryfikacja hipotez badawczych	10
Plan pracy	11
Literatura	13

Przedmiot, cel i zakres pracy

Przygotowywana rozprawa dotyczy modelowania ekonometrycznego ryzyka związanego z wyceną obligacji skarbowych oraz zarządzania portfelem takich obligacji z wykorzystaniem swapów ryzyka kredytowego. Celem pracy jest zbadanie czy zaproponowane zaawansowane metody ekonometryczne pozwalają na bardziej dokładne oszacowania ryzyka niż pozwalały historycznie stosowane metody. W rozprawie zbadane zostały trzy główne hipotezy:

1. Założenie zmiennej w czasie wartości LGD (Loss Given Default) istotnie wpływa na oszacowania PD (Probability of Default) i dopasowanie modelu wyceny instrumentów CDS do danych;
2. Uwzględnienie zależności nieliniowych z wykorzystaniem funkcji łączących copula w istotny sposób poprawia dokładność oszacowania ryzyka dla portfela składającego się z obligacji skarbowych i instrumentów CDS;
3. Wykorzystanie modelu sztucznych sieci neuronowych, w istotny sposób pomaga prognozować zmienność CDS dla obligacji rządowych.

Każda hipoteza jest dokładnie analizowana w oddzielnym rozdziale, w którym na podstawie przeglądu literatury wybrano odpowiednią metodologię. Ponadto, każda hipoteza jest weryfikowana przy użyciu innego zbioru danych. Zestaw krajów i zakres czasowy analizowany w każdym rozdziale jest wybrany w taki sposób umożliwiający wyciągnięcie wniosków, jednocześnie zachowując wspólny czynnik dla wszystkich głównych hipotez. Analizowane hipotezy dotyczą problemów wszystkich podmiotów aktywnych na rynku CDS na obligacje państw. Podczas zabezpieczania swojej pozycji za pomocą kontraktu CDS, kwestie poprawnej wyceny, przyszłego ryzyka instrumentu, a także ryzyka całego portfela są czynnikami o dużym znaczeniu i powinny być dokładnie przeanalizowane.

Niniejsza analiza wnosi wkład do istniejącej literatury na kilka sposobów. Po pierwsze, nie tylko oszacowuje zmieniające się w czasie PD (prawdopodobieństwo niewypłacalności) i LGD (stopa straty przy niewypłacalności) z wykorzystaniem struktury terminowej kontraktów CDS, ale również porównuje zaproponowany model z innymi modelami wyceny opisanych w literaturze naukowej. Analiza ujawnia poważne braki w obecnych podejściach do wyceny aktywów w przypadku CDS na obligacje państw, gdzie założone wartości LGD są dalekie od obserwacji historycznych i oczekiwań rynku. Po drugie, opisuje metodologię, która umożliwia ocenę ryzyka portfela składającego się z obligacji skarbowej i CDS na ten instrument, oraz prezentuje wnioski dotyczące skuteczności takiej metodyki. Badanie porównuje szeroki zakres funkcji copula i sprawdza, czy bardziej zaawansowane metody oceny portfela pozwalają na uzyskanie dokładniejszych oszacowań ryzyka. Co więcej, zastosowano zaawansowane metody (np. sieci neuronowe i nieliniowe modele przestrzeni stanów), które uwzględniają nieliniowości na rynku CDS i porównano je z bardziej powszechnymi i mniej wymagającymi obliczeniowo odpowiednikami.

Modelowanie ryzyka CDS na obligacje rządowe oraz ich relacji z innymi aktywami służy różnym uczestnikom rynku (np. funduszom inwestycyjnym, bankom i nadzorcom rynku finansowego). Zaawansowane techniki ekonometryczne mogą być korzystnym narzędziem, zwłaszcza dla animatorów rynku. Metody te pozwalają tym instytucjom obliczać ryzyka związane z ich portfelami z większą precyzją, co może prowadzić zarówno do zysków z fluktuacji cen na rynku, jak i zwiększonej płynności dla innych uczestników. Szczególnie istotne jest zarządzanie ryzykiem dla tych uczestników rynku (dealerów raportujących i centralnych kontrahentów), ponieważ są to globalne i systemowo ważne instytucje finansowe, które dominują na rynku kupna i sprzedaży. W przypadku niewłaściwej oceny ryzyka przez te instytucje w okresach niepokoju na rynku, może to prowadzić do zdarzeń o charakterze systemowym.

Podjęty temat jest kluczowy z punktu widzenia wszystkich instytucji inwestujących w instrumenty dłużne państw, a zatem banków, funduszy inwestycyjnych, funduszy hedgingowych, czy firm ubezpieczeniowych. Instytucje te są szczególnie zainteresowane otrzymaniem możliwie najdokładniejszych oszacowań parametrów ryzyka, gdyż działają one aktywnie na rynkach obligacji skarbowych oraz często również instrumentów pochodnych na nich opartych.

Obligacje skarbowe dla wielu polskich instytucji niezmiennie pozostają dominującym elementem portfela inwestycyjnego. Stanowią one ok. 11% aktywów polskich banków¹, 20% aktywów sektora funduszy inwestycyjnych, 69% lokat krajowych zakładów ubezpieczeń na życie oraz 52,2% lokat krajowych zakładów ubezpieczeń majątkowych². Istotny udział tych papierów w portfelach instytucji finansowych ma szczególne znaczenie, gdy na mocy Rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 575/2013 z dnia 26 czerwca 2013 r. w sprawie wymogów ostrożnościowych dla instytucji kredytowych i firm inwestycyjnych, zmieniające rozporządzenie (UE) nr 648/2012, instytucja ta są zobowiązane do codziennego raportowania ryzyka związanego z posiadanymi instrumentami.

Wnioski z opisanej rozprawy doktorskiej powinny dostarczyć wyczerpujących informacji odnośnie użyteczności analizowanych metod ekonometrycznych do analizy rynku obligacji skarbowych. Ponadto, mogą one posłużyć uczestnikom rynku do poprawy modeli wyceny instrumentów dłużnych oraz oceny ryzyka posiadanych portfeli obligacji. Natomiast, instytucje odpowiedzialne za politykę monetarną i fiskalną mogą wykorzystać wnioski rozprawy do analizy oceny ryzyka przez uczestników rynku, lub traktować oszacowania i predykcje modeli jako narzędzia wczesnego ostrzegania przed kryzysem finansowym.

¹ Obliczenia własne na podstawie danych NBP.

² „Rozwój systemu finansowego w Polsce w 2020 r.”, NBP, Warszawa 2020 r.

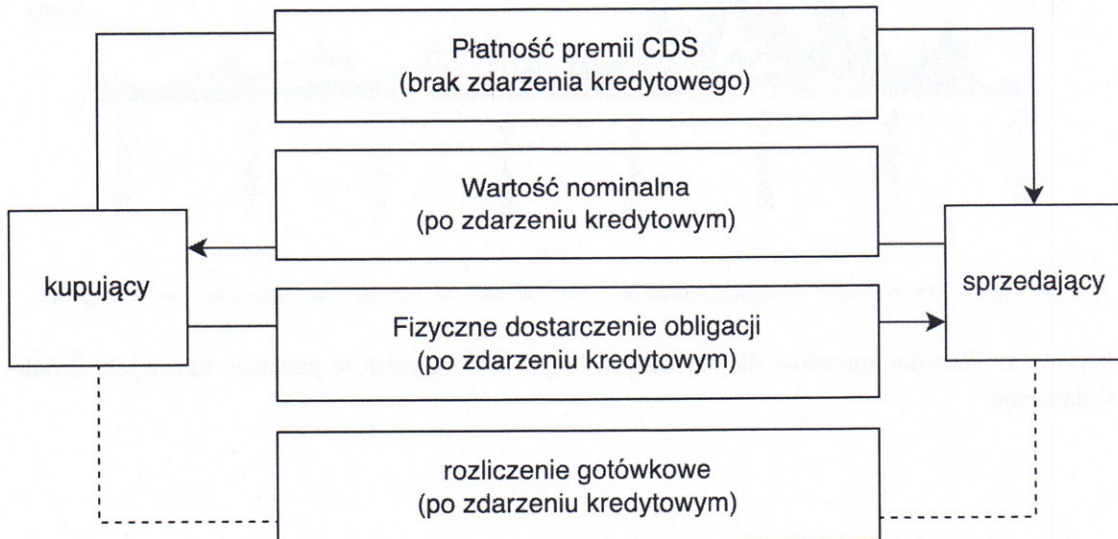
Rozprawa doktorska składa się z czterech rozdziałów, które zostały opisane poniżej.

Rozdział I: Działanie i rozwój rynku swapów ryzyka kredytowego

Rozdział opisuje definicję, cel i globalny rynek kontraktów CDS. Przedstawiony opis skoncentrowany jest na uczestnikach rynku, jego strukturze i ewolucji rynku na przestrzeni czasu z uwzględnieniem sytuacji podczas kryzysu na rynku europejskich obligacji rządowych.

Swap ryzyka kredytowego (ang. credit default swap - CDS) to instrument finansowy, którego celem jest przeniesienie ryzyka kredytowego z kupującego na sprzedającego. W przypadku standardowej obligacji emitent zobowiązuje się wypłacać inwestorowi regularne odsetki oraz zwrócić nominalną wartość na koniec okresu trwania obligacji, w zamian za otrzymanie wartości nominalnej. W rezultacie inwestor jest narażony na ryzyko kredytowe i może ponieść straty w przypadku niewypłacalności emitenta.

CDS to instrument pochodny, którego celem jest zabezpieczenie posiadacza obligacji przed bankructwem emitenta. Kupujący płaci cyklicznie ustaloną kwotę ao sprzedającego, a w zamian sprzedający kompensuje kupującego straty w przypadku niewypłacalności emitenta. Mechanizm działania swapu ryzyka kredytowego przedstawia Schemat 1.



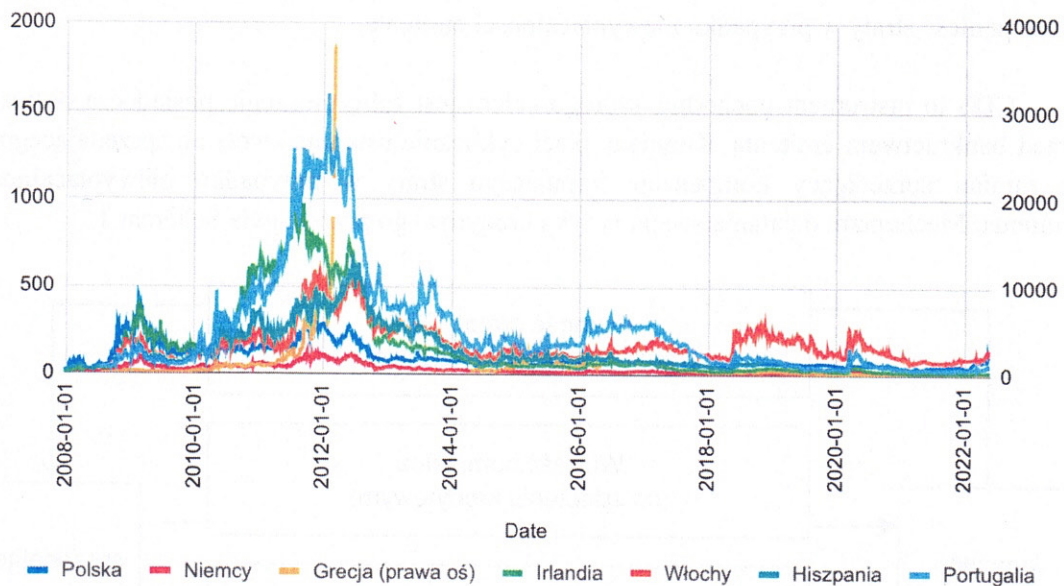
Schemat 1: Mechanizm płatności swapu ryzyka kredytowego.

Źródło: opracowanie własne na podstawie Criado et al. (2010).

Swapy ryzyka kredytowego zostały stworzone w drugiej połowie lat 90 XX wieku i na początku handlowane były na giełdzie papierów wartościowych w Londynie. Wkrótce potem zyskały popularność w wielu krajach, w szczególności w Stanach Zjednoczonych a wzrost ich popularności był wykładniczy (Tamakoshi i Hamori, 2018) i trwał do czasu upadku banku Lehman Brothers w 2008. Ze względu na fakt, że swapy ryzyka kredytowego odegrały

główną rolę w rozwoju kryzysu finansowego, popularność tych instrumentów gwałtownie spadła.

Rynek swapów ryzyka kredytowego na obligacje rządowe (ang. Sovereign Credit Default Swap - SCDS) jest rynkiem relatywnie małym w stosunku do całego rynku CDS - 1,1 biliona dolarów amerykańskich pozostających kontraktów w marcu 2021 w stosunku do 8,8 biliona dolarów amerykańskich całego rynku CDS. Rynek SCDS charakteryzował się gwałtownym wzrostem od roku 2005 i osiągnął swój szczyt pomiędzy latami 2012 i 2013 podczas kryzysu na rynku europejskich obligacji rządowych wywołanego sytuacją finansową Grecji w 2009 roku. W tym czasie ceny swapów ryzyka kredytowego dla obligacji emitowanych przez europejskie kraje osiągnęły swoje historyczne maksima. Wartości spreadów dla wybranych krajów przedstawia Wykres 1.



Wykres 1: Wartości spreadów dla wybranych krajów europejskich w punktach bazowych. Źródło: Datastream

Rozdział II: Analiza rynkowej oceny prawdopodobieństw bankructwa (ang. *Probability of Default – PD*) oraz oczekiwanej straty (ang. *Loss Given Default – LGD*) na podstawie kwotowań CDS (*Credit Default Swap*)

Rozdział przedstawia propozycję modelu wyceny CDS z zmiennym w czasie PD oraz LGD wykorzystującego strukturę terminową kontraktów.

Podstawowym czynnikiem ryzyka instrumentów dłużnych jest niemożność emitenta do wywiązania się ze spłaty zadłużenia. Im wyższe prawdopodobieństwo bankructwa instytucji, tym tańszy powinien być instrument o zadanej wartości nominalnej. Analogicznie, wycena instrumentów dłużnych zależy od możliwości odzyskania części należności, w przypadku tzw. zdarzenia kredytowego. Im wyższy oczekiwany odsetek możliwych do odzyskania środków – tym bezpieczniejszy jest instrument, a tym samym wyższa cena instrumentu dłużnego.

Biorąc pod uwagę wielkość rynku instrumentów dłużnych oraz wpływu opisanych parametrów na wycenę i zarządzanie ryzykiem, temat ten był przedmiotem wielu publikacji, m.in. Gapen et al. (2008), Plank (2010), Trebesch et al. (2012) czy Konopczak (2014). Jednakże w przypadku instrumentów dłużnych państw, zdarzenia kredytowe zdarzają się niezwykle rzadko, i w rezultacie oszacowanie tych parametrów nie jest możliwe w rzetelny sposób na podstawie zdarzeń historycznych. W praktyce, bardzo często stosowane są modele zakładające wartość LGD na stałym poziomie oraz zmienną wartość PD opartą na kwotowaniach CDS lub CCA (Contingent Claims Analysis). Przyjęty poziom LGD, bardzo silnie może wpływać na finalną wartość oszacowania PD, a tym samym na wycenę instrumentów wykorzystującą te parametry. Ponadto, historyczne obserwacje pokazują, że wartość LGD przyjmowała skrajnie różne wartości (Trebesch et al. 2012), co potwierdza fakt konieczności estymacji tego parametru. Rozdział prezentuje model oparty na pracach Pan i Singleton (2008) oraz Doshi (2011), wykorzystujący techniki modeli przestrzeni stanów oraz filtru Kalmana, w którym kwotowania CDS pozwalają oszacować zmieniające się w czasie oczekiwania uczestników rynku odnośnie zarówno PD oraz LGD.

Ponadto, zastosowanie modelu opartego o kwotowania CDS pozwala na uniknięcie znacznej części problemów związanych z płynnością rynku obligacji skarbowych. Według Longstaff et al. (2011), rynek CDS jest zazwyczaj znacznie bardziej płynny niż odpowiadający mu rynek obligacji. W konsekwencji oparcie oszacowań na rynku CDS powinien prowadzić do bardziej dokładnych oszacowań ryzyka kredytowego.

W rozdziale zaprezentowane zostały wyniki dla Polski, która jest relatywnie dużą gospodarką w Europie środkowo-wschodniej. Ze względu na fakt, że Polska w okresie przed kryzysem finansowym wywołanym upadkiem Lehman Brothers nie charakteryzowała się problemami gospodarczymi jak wiele innych krajów rozwijających się, oraz została w pewnym stopniu dotknięta skutkami kryzysu, stanowi naturalne laboratorium dla rozprzestrzeniania się ryzyka. Celem rozdziału jest pokazanie, że model uwzględniający zmieniający się w czasie parametr LGD może być lepiej dopasowany do danych empirycznych.

Zaprezentowany w rozdziale model został oszacowany na podstawie obserwacji z końca miesiąca z okresu od stycznia 2004 do grudnia 2021 roku dla 10 różnych zapadalności - od jednego do 10 lat. Stabilność wyników została potwierdzona na przykładzie dwóch innych krajów europejskich: Francji i Hiszpanii.

Rozdział III: Analiza zależności między obligacją skarbu państwa, a instrumentem CDS z wykorzystaniem funkcji łączących Copula

Rozdział opisuje metodę szacowania ryzyka portfela składającego się z obligacji skarbowej i CDS na tę obligację z wykorzystaniem funkcji copula. Opisane badanie analizuje zależność między obligacją a zabezpieczającym ją kontraktem CDS. Badanie to również weryfikuje hipotezę, czy uwzględnienie nieliniowej relacji między instrumentami za pomocą funkcji copula poprawia estymację ryzyka portfela.

Swap ryzyka kredytowego jest instrumentem pozwalającym posiadaczowi obligacji zabezpieczyć się przed niewypłacalnością emitenta. Instrumenty dłużne większości krajów przez długi czas były uważane za bardzo bezpieczne, a tym samym, cena CDS zabezpieczających te instrumenty były bardzo niskie. W związku z powyższym, oceniając ryzyko portfela składającego się z obligacji oraz CDS, skupiano się jedynie na obligacji, gdyż wartość CDS była nieistotną częścią tego portfela. W związku z powyższym, w przypadku zamknięcia pozycji obligacji oraz jej zabezpieczenia, zysk lub strata z transakcji, niemal w całości determinowane były przez zmianę ceny instrumentu dłużnego.

W latach 2009-2012 roku kwotowania CDS na obligacje wielu krajów osiągnęły historycznie wysokie wartości: 1600 bp (Portugalia), 1300 bp (Irlandia) and 3000 bp (Grecja). W takim przypadku, wartość CDS stanowi znaczącą część portfela, a tym samym nie może być zaniedbana przy modelowaniu ryzyka rynkowego takiego portfolio. Zysk/strata ze sprzedaży obligacji i zamknięcia pozycji na instrumencie CDS w przypadku tak wysokich kwotowań, wciąż w większości jest determinowana zmianą ceny obligacji, lecz wahania kwotowań CDS w istotny sposób mogą wpłynąć na wynik transakcji.

Ponadto, w 2012 w UE zakazano posiadania pozycji w instrumencie CDS, jeżeli dany uczestnik rynku nie posiadał obligacji, na którą CDS został wystawiony. W rezultacie każdemu CDS na rynku europejskim towarzyszy obligacja, i tym samym konieczność modelowania zależności między tymi instrumentami stała się bardziej istotna.

W części empirycznej niniejszego rozdziału do szeregów czasowych dopasowane zostały rozkłady brzegowe, spośród wielu kombinacji ARMA-GARCH. Wykorzystane modele GARCH obejmują rozszerzenia uwzględniające asymetrię w odpowiedzi na pozytywne i negatywne szoki EGARCH (Nelson, 1991) oraz GJR-GARCH (Glosten, Jagannathan i Runkle, 1993). Zważywszy na fakt, że funkcje łączące copula są narzędziem pozwalającym na modelowanie zależności między zmiennymi, gdy zależność ta odbiega od wielowymiarowego rozkładu normalnego (Kharoubi-Rakotomalala, 2013), dla każdej pary obligacja-CDS dobrana została optymalna funkcja copula, której parametry zostały

oszacowane. Na podstawie oszacowanych funkcji łączących i rozkładów brzegowych policzone zostały 1-dniowe prognozy VaR (Value-at-Risk) dla analizowanych portfolio. Jakość prognoz została porównana odpowiednimi testami statystycznymi: Kupiec (1995), Christoffersen (2004) oraz DQ (Engle i Manganelli, 2004). W rozdziale przedstawiono wyniki dla krajów o najwyższych kwotowaniach CDS w okresie kryzysu europejskich obligacji rządowych; Grecji, Irlandii, Włoch, Hiszpanii i Portugalii oraz dla porównania również Polski.

Rozdział IV: Przewidywanie zmienności kwotowań CDS z wykorzystaniem sztucznych sieci neuronowych.

Rozdział opisuje hybrydowy model łączący modele typu GARCH i sztuczne sieci neuronowe, a także weryfikuje hipotezę o przewadze sieci neuronowych nad klasycznymi modelami w prognozowaniu zmienności kontraktów CDS na obligacje skarbowe.

Modelowanie i przewidywanie przyszłej zmienności instrumentu finansowego jest kluczowe w ocenie ryzyka wynikającego z jego posiadania. Ponadto, zmienność aktywa finansowego jest często parametrem niezbędnym do wyceny instrumentów pochodnych na nim opartych. Mając na celu ocenę przyszłego ryzyka z posiadanych instrumentów finansowych lub wycenę instrumentu pochodnego obowiązującego w przyszłości można zastosować jedno z podejść: 1) wykorzystać zmienność implikowaną (jeżeli istnieją odpowiednie instrumenty pochodne) lub 2) dokonać prognozy zmienności na podstawie historycznych danych przy użyciu modelu ekonometrycznego. Ze względu na ograniczoną liczbę instrumentów pochodnych na rynku polskim, w większości przypadków konieczne jest zastosowanie drugiego podejścia.

W przypadku omawianej w tym rozdziale zmienności, do jej modelowania i prognozowania stosuje się szeroką gamę modeli rozwijanych odkąd w 1982 Robert F. Engle zaproponował model ARCH (Autoregressive Conditional Heteroscedasticity). Późniejsze uogólnienie modelu ARCH – Generalized Autoregressive Conditional Heteroscedasticity (Bollerslev, 1986), doczekało się wielu modyfikacji, uwzględniających więcej charakterystyk danych finansowych, a tym samym poprawiających ich zdolności predykcyjne.

Wiele prac dowodzi, że uwzględnienie dodatkowych nieliniowych zależności, z zastosowaniem sztucznych sieci neuronowych pozwala poprawić zdolności predykcyjne modeli dla różnego rodzaju szeregów czasowych (m.in. BuHamra et al. 2003, czy Zhang 2003). Podobne wnioski płyną z prac, które implementują różne modele sieci neuronowych do szeregów zmienności: Donaldson i Kamstra (1997), Si-ming et al. (2012), Pradeepkumar et al. (2017).

W niniejszym rozdziale przedstawione zostały wybrane modele GARCH, oraz modele sztucznych sieci neuronowych. Ponadto, dla analizowanych szeregów zmienności oszacowane zostaną różne jednowymiarowe modele GARCH, włączając rozszerzenia

uwzględniające asymetrię w odpowiedzi na pozytywne i negatywne szoki EGARCH (Nelson, 1991) oraz GJR-GARCH (Glosten, Jagannathan i Runkle, 1993). Prognozy ze wszystkich modeli zmienności zostały porównane z modelem opartym o rekurencyjne sieci neuronowe będącym modyfikacją modelu hybrydowego zaproponowanego przez Kim i Won (2018). Porównań dokonano dla trzech horyzontów czasowych prognozy: 1, 5 i 15 dni za pomocą testu Diebolda-Mariano (Diebold i Mariano 1995). W celu potwierdzenia odporności wyników, badanie analizuje różne miary zmienności.

Weryfikacja hipotez badawczych

1) Założenie zmiennej w czasie wartości LGD (Loss Given Default) istotnie wpływa na oszacowania PD (Probability of Default) i dopasowanie modelu wyceny instrumentów CDS do danych;

Oszacowany model w zredukowanej formie służący do wyceny swapu ryzyka kredytowego dla obligacji rządowej Polski osiągnął lepsze wyniki (mierzone R^2 oraz kryterium informacyjnym Akaike) w stosunku do modeli zakładających stałą wartość LGD. Zastosowana metoda pozwoliła na identyfikację prawdopodobieństwa bankructwa (PD) oraz oczekiwanej straty w przypadku bankructwa (LGD) Polski dla wielu obserwacji w czasie oraz terminów zapadalności. Skuteczność modelu została potwierdzona z wykorzystaniem danych o innych krajach europejskich. We wszystkich analizowanych krajach modelowa wartość LGD pozostała bardzo niska (poniżej 10%), podczas gdy PD zmieniało się w czasie, osiągając wartości bliskie jedności w okresach zwiększonej niepewności na rynkach. Ponadto, analiza wykazała, że uzyskane wartości PD są silnie skorelowane z zewnętrznymi miarami ryzyka bankructwa państw, takimi jak stosunek długu do PKB lub rentowność obligacji referencyjnych.

2) Uwzględnienie zależności nieliniowych z wykorzystaniem funkcji łączących copula w istotny sposób poprawia dokładność oszacowania ryzyka dla portfela składającego się z obligacji skarbowych i instrumentów CDS;

Na podstawie obliczeń VaR dla par obligacji państw i odpowiadających im kontraktów CDS dla sześciu krajów, wykazano, że w niektórych przypadkach zastosowanie funkcji copula jako miary zależności między aktywami może prowadzić do statystycznie lepszych miar ryzyka. Uzyskane wyniki pokazują, że uwzględnienie zależności w ogonach rozkładów pozwala na najlepsze dopasowanie miary zależności między analizowanymi aktywami we wszystkich sześciu krajach. Estymacje VaR pokazują statystycznie istotną poprawę w prognozach 1-dniowego ryzyka portfela w trzech przypadkach i pogorszenie tylko w jednym, co pozwala wnioskować o przewadze proponowanej metody szacowania ryzyka.

3) Wykorzystanie modelu sztucznych sieci neuronowych, w istotny sposób pomaga prognozować zmienność CDS dla obligacji rządowych.

Formalne porównanie prognoz generowanych zarówno przez prosty model finansowy (model typu GARCH), jak i hybrydowy model oparty o sztuczne sieci neuronowe wykazało, że hybrydowy model jest lepszy zarówno od naiwnej prognozy, jak i od bazowych prostych modeli. Powyższe jest prawdziwe tylko dla dłuższych horyzontów czasowych (5 i 15 dni). Dla bardzo krótkich okresów czasu, naiwna prognoza pozostaje najskuteczniejsza. Wyniki zostały zweryfikowane dla alternatywnych miar zmienności. Użycie kwadratów dziennych zwrotów jako miary dla zmienności, jak również rozszerzenie okna estymacji dla proponowanej miary zmienności prowadzi do bardzo podobnych wyników.

Plan pracy

Wprowadzenie

Rozdział 1: Działanie i rozwój rynku swapów ryzyka kredytowego

- 1.1. Swap ryzyka kredytowego - funkcja i sposób wyceny
- 1.2. Rozwój i struktura rynku swapów ryzyka kredytowego
- 1.3. Rynek swapów ryzyka kredytowego
- 1.4. Swapy ryzyka kredytowego na obligacje rządowe podczas kryzysu na rynku europejskich obligacji rządowych

Rozdział 2: Analiza rynkowej oceny prawdopodobieństw bankructwa (ang. Probability of Default – PD) oraz oczekiwanej straty (ang. Loss Given Default – LGD) na podstawie kwotowań CDS (Credit Default Swap)

- 2.1. Przegląd literatury
- 2.2. Model wyceny kontraktów CDS
 - 2.3.1. Dane
 - 2.3.2. Wyniki estymacji parametrów
 - 2.3.3. Oszacowania PD i LGD
 - 2.3.4. Korelacja PD i LGD z innymi miarami ryzyka
 - 2.3.5. Korelacja PD i LGD z kwotowaniami CDS
 - 2.3.6. Osobna Identyfikacja of PD i LGD
- 2.4. Analiza odporności wyników
- 2.5. Wnioski

Rozdział 3: Analiza ryzyka portfela składającego się z obligacji rządowej oraz CDS na tę obligację z wykorzystaniem funkcji łączącej copula

- 3.1. Przegląd literatury
 - 3.1.1. Funkcje łączące copula w analizie ryzyka portfela
 - 3.1.2. Związek pomiędzy ceną obligacji rządowej oraz odpowiadającym jej CDS
- 3.2. Metodologia
 - 3.2.1. Rozkłady brzegowe
 - 3.2.2. Funkcje łączące copula
- 3.3. Badanie empiryczne
 - 3.3.1. Dane
 - 3.3.2. Dopasowane rozkłady i funkcje
 - 3.3.3. Wartość Zagrożona
- 3.4. Analiza odporności wyników
 - 3.4.1. Walidacja wyboru funkcji copula
 - 3.4.2. Walidacja stabilności wyników ryzyka portfela
- 3.5. Wnioski

Rozdział 4: Przewidywanie zmienności spreadów swapów ryzyka kredytowego na obligacje rządowe z wykorzystaniem modelu hybrydowego łączącego rekurencyjne sieci neuronowe LSTM oraz modele typu GARCH

- 4.1. Przegląd literatury
- 4.2. Modele

- 4.2.1. Modele typu GARCH
 - 4.2.1.1. GARCH(1,1)
 - 4.2.1.2. EGARCH
 - 4.2.1.3. EWMA
- 4.2.2 Sieć neuronowa typu Long-Short-Term Memory
 - 4.2.2.1. Sztuczna Sieć Neuronowa
 - 4.2.2.2. Sieć neuronowa typu Long-Short-Term Memory
- 4.2.2. Model hybrydowy
- 4.3. Dane
- 4.4. Analiza empiryczna
- 4.5. Wyniki
 - 4.5.1. Wyniki modelu podstawowego
- 4.6. Analiza odporności wyników
 - 4.6.1. Zmienność zrealizowana z 22-dniowym oknem
 - 4.6.2. Dzielne zwroty podniesione do drugiej potęgi
 - 4.6.3. Wyniki otrzymane przy reestymacji modelu GEW-LSTM
- 4.7. Wnioski

Wnioski

Bibliografia

Załącznik

Literatura

- Bollerslev, T. (1986). Generalized autoregressive conditional heteroskedasticity. *Journal of Econometrics*, 31(3), 307-327.
- BuHamra, S., Smaoui, N., & Gabr, M. (2003). The Box–Jenkins analysis and neural networks: prediction and time series modelling. *Applied Mathematical Modelling*, 27(10), 805-815.
- Christoffersen, P., & Pelletier, D. (2004). Backtesting value-at-risk: A duration-based approach. *Journal of Financial Econometrics*, 2(1), 84-108.
- Criado, S., Degabriel, L., Lewandowska, M., Lindén, S., & Ritter, P. (2010). Report on sovereign CDS. *The Hedge Fund Journal*.
- Diebold, F. X., & Mariano, R. S. (1995). Comparing Predictive Accuracy. *Journal of Business & Economic Statistics*, 13(3), 253.
- Donaldson, R. G., & Kamstra, M. (1997). An artificial neural network-GARCH model for international stock return volatility. *Journal of Empirical Finance*, 4(1), 17-46.
- Doshi, H. (2011). The Term Structure of Recovery Rates. *SSRN Electronic Journal*.
- Engle, R. F. (1982). Autoregressive Conditional Heteroscedasticity with Estimates of the Variance of United Kingdom Inflation. *Econometrica*, 50(4), 987–1007.
- Engle, R. F., & Manganelli, S. (2004). CAViaR: Conditional autoregressive value at risk by regression quantiles. *Journal of Business & Economic Statistics*, 22(4), 367-381.
- Gapen, M., Gray, D., Lim, C. H., & Xiao, Y. (2008). Measuring and analyzing sovereign risk with contingent claims. *IMF Staff Papers*, 55(1), 109-148.
- Glosten, L. R., Jagannathan, R., & Runkle, D. E. (1993). On the relation between the expected value and the volatility of the nominal excess return on stocks. *The journal of finance*, 48(5), 1779-1801.
- Kharoubi-Rakotomalala, C., & Maurer, F. (2013). Copulas in finance ten years later. *Journal of Applied Business Research (JABR)*, 29(5), 1555-1566.
- Kim, H. Y., & Won, C. H. (2018). Forecasting the volatility of stock price index: A hybrid

model integrating LSTM with multiple GARCH-type models. *Expert Systems with Applications*, 103, 25-37.

Konopczak, M. (2014). Ocena wpływu zmian poziomu rezerw walutowych na premię za ryzyko kredytowe Polski– wykorzystanie metody roszczeń warunkowych. *Bank i Kredyt*, 45(5), 467-490.

Kupiec, P. H. (1995). Techniques for Verifying the Accuracy of Risk Measurement Models. *The Journal of Derivatives*, 3(2), 73–84.

Longstaff, F. A., Pan, J., Pedersen, L. H., & Singleton, K. J. (2011). How sovereign is sovereign credit risk?. *American Economic Journal: Macroeconomics*, 3(2), 75-103.

Nelson, D. B. (1991). Conditional Heteroskedasticity in Asset Returns: A New Approach. *Econometrica*, 59(2), 347–370.

Pan, J., & Singleton, K. J. (2008). Default and recovery implicit in the term structure of sovereign CDS spreads. *The Journal of Finance*, 63(5), 2345-2384.

Plank, T. (2010). Do Macro-Economic Fundamentals Price Emerging Market Sovereign CDS Spreads? *SSRN Electronic Journal*.

Pradeepkumar, D., & Ravi, V. (2017). Forecasting financial time series volatility using particle swarm optimization trained quantile regression neural network. *Applied Soft Computing*, 58, 35-52.

Li, S. M., Lin, Z. X., Xiao, Z. Y., & Ma, J. W. (2012). The use of GARCH-neural network model for forecasting the volatility of bid-ask spread of the Chinese stock market. In *2012 International Conference on Management Science & Engineering 19th Annual Conference Proceedings* (pp. 1899-1903). IEEE.

Tamakoshi, G., & Hamori, S. (2018). *Credit Default Swap Markets in the Global Economy: An Empirical Analysis*. Routledge.

Trebesch, C., Papaioannou, M. G., & Das, U. S. (2012). Sovereign Debt Restructurings 1950-2010: Literature Survey, Data, and Stylized Facts. *IMF Working Papers*, 12(203).

Zhang, G. P. (2003). Time series forecasting using a hybrid ARIMA and neural network model. *Neurocomputing*, 50, 159-175.

Konrad Kostrowa