

Poznań 12.06.2020

Dr hab. Jacek Mizerka, prof. UEP  
Katedra Finansów Przedsiębiorstw  
Instytut Rachunkowości i Zarządzania Finansami  
Uniwersytet Ekonomiczny w Poznaniu

## RECENZJA

rozprawy doktorskiej **mgra Marcina Pawlaka** pt. *Zastosowanie dwukrotnej symulacji Monte Carlo w wycenie opcji realnych* napisanej pod kierunkiem dra hab. prof. Uniwersytetu Szczecińskiego, Tomasza Wiśniewskiego

Szczecin 2020, s.252

### 1. Wstęp

Decyzje inwestycyjne, co oczywiste, mają wpływ na wartość firmy. Wartość firmy, przynajmniej w ramach paradygmatu finansów neoklasycznych, pozostaje głównym kryterium podejmowania decyzji w firmie. Rozwój społeczny i postęp technologiczny bynajmniej nie zmniejszają niepewności towarzyszącej podejmowaniu decyzji inwestycyjnych. Wzrost tej niepewności rodzi zapotrzebowanie na metody oceny efektywności inwestycji (metody szacowania wartości firmy) uwzględniające możliwość elastycznego reagowania decydentów na zmieniającą się sytuację. Metody opcyjne nabyły już prawo obywatelstwa wśród metod oceny efektywności inwestycji (wyceny firm). Początek okresu burzliwego rozwoju opcyjnych metod wyceny wartości aktywów niefinansowych, określanych także, w odróżnieniu od opcji finansowych, mianem opcji rzeczywistych, rzeczowych, albo realnych, przypada na połowę lat dziewięćdziesiątych ubiegłego stulecia. Mimo, że od tego czasu zidentyfikowano i wyceniono już wiele opcji rzeczywistych, to jednak wzrastająca niepewność związana z procesami podejmowania decyzji w firmach, każe przypuszczać, że jeszcze wiele opcji rzeczywistych pozostaje wyzwaniem dla badaczy. Przenoszone na grunt opcji rzeczywistych modele wyceny opcji finansowych „grzeszą” mocnymi, często nierealistycznymi założeniami, a swym zaawansowaniem, jeśli idzie o zastosowany aparat matematyczny, odstrasza praktyków od ich zastosowania. Zatem interesującym i potrzebnym obszarem refleksji naukowej wydaje się być doskonalenie metod wyceny opcji rzeczowych. Można zatem stwierdzić, że praca Pana Marcina Pawlaka pt. *Zastosowanie dwukrotnej symulacji Monte Carlo w wycenie opcji realnych*, wpisuje się w nurt badawczy stwarzający możliwość uzyskania wartościowych

rezultatów, zarówno z czysto naukowego, jak i praktycznego punktu widzenia. Praca ta składa się z czterech rozdziałów. Rozdział pierwszy, wprowadzający do zagadnienia opcji realnych, poświęcony został omówieniu roli kategorii niepewności i ryzyka w ocenie efektywności inwestycji rzeczowych oraz wyjaśnieniu genezy i istoty opcji realnych. W rozdziale drugim Autor omawia założenia przyjmowane przy okazji wyceny opcji realnych oraz metody ich wyceny, nie unikając kwestii dyskusyjnych związanych z wykorzystaniem podejścia opcyjnego w praktyce wyceny. Rozdział trzeci dotyczy metody wyceny opcji realnych z wykorzystaniem symulacji. W rozdziale tym zawarł Autor opis oryginalnej metody wyceny opcji realnych określonej mianem symulacyjnej wyceny porównawczej (SWP) porównując ją z metodą dwukrotnej symulacji Monte Carlo (2MC) autorstwa T. Wiśniewskiego. Z kolei w rozdziale czwartym przedstawiono wyniki walidacji i weryfikacji modelu SWP na przykładzie wyceny opcji wzrostu oraz opcji zakończenia działalności.

## **2. Cele, hipotezy badawcze, struktura pracy**

Recenzowaną pracę zaliczyć trzeba do prac o metodzie. Sformułowany na s. 8 cel główny pracy, którym jest „konstrukcja, weryfikacja i walidacja metody wyceny opcji realnych bazującej na finansowym modelu przedsięwzięcia i procedurze symulacji Monte Carlo” jest trafny. Także cele częściowe nie budzą zastrzeżeń. Wyrażam jednak wątpliwość odnośnie do potrzeby formułowania hipotezy badawczej w pracy o metodzie. Na dodatek w pracy mgra Marcina Pawlaka główna hipoteza stanowiąca, iż „...wycena prostych opcji realnych za pomocą symulacyjnej wyceny porównawczej (SWP) i modelu Blacka-Scholesa prowadzi do identycznych wyników” odnosi się do realizacji jednego tylko celu częściowego, a mianowicie od „określenia różnic i podobieństw w wycenach opcji dokonywanych za pomocą metody SWP i modelu Blacka-Scholesa”. W mojej opinii Autor nie przedstawił też wystarczających argumentów za wykorzystaniem modelu Blacka-Scholesa w celu porównania wyników uzyskiwanych poprzez zastosowanie tego właśnie modelu do wyników uzyskiwanych z zastosowaniem metody SWP. Będzie jeszcze o tym mowa w dalszej części recenzji. Zasygnalizowanie określonych wątpliwości odnośnie do potrzeby formułowania ogólnej hipotezy badawczej, nie umniejsza istotnie mojej pozytywnej oceny sformułowanych celów pracy i jej struktury. W mojej ocenie układ i struktura rozprawy doktorskiej, a także kolejność i wewnętrzna systematyka rozdziałów, są logiczne i dobrze służą realizacji celów pracy.

## **3. Metodologia pracy, uzyskane wyniki**

W recenzowanej pracy główny nacisk został położony na problematykę wyceny,



jednakże omówienie metod wyceny zostało poprzedzone dyskusją założeń metod stosowanych do wyceny opcji rzeczywistych. W ramach założeń na szczególną uwagę zasługuje podrozdział poświęcony analogiom pomiędzy opcjami rzeczywistymi a finansowymi. W recenzowanej pracy wnioskowanie przez analogię, odgrywa istotną rolę. Analogia jest czynnością poznawczą, dzięki której dochodzi do ustalenia podobieństwa (odpowiedniości) między elementami zbioru X, do którego należą A i B oraz elementami zbioru Y, który zawiera A' i B'. Podobieństwo to może polegać na tym, że A ma się tak do B, jak A' ma się do B'. Poszukując uzasadnienia dla posługiwania się modelem wyceny opcji finansowej do oceny efektywności inwestycji rzeczowej, trzeba wskazać na odpowiedniość tego modelu do opisu kształtowania się w czasie wartości nakładów i korzyści z inwestycji rzeczowej. Autor przeprowadza tego typu uzasadnienie głównie w podrozdziale 2.1.1 s. 41-49. Mimo, że oprócz podobieństw wskazywane są również różnice między opcjami realnymi a finansowymi, to jednak podsumowując konfrontację między tymi opcjami, Autor stwierdza iż opcje finansowe „są bazą” dla opcji realnych. Jak można się domyślić, śledząc dalszy tok wywodu, chodzi o wykorzystanie modeli opracowanych na potrzeby wyceny opcji finansowych do szacowania wartości opcji realnych. Trudno się z takim rozumowaniem Autora nie zgodzić, tym bardziej, iż podkreśla on, że na potrzeby wyceny opcji realnych konieczne są modyfikacje modeli opracowanych dla wyceny opcji finansowych. Pozytywnie oceniam też poprzedzenie prezentacji modeli wyceny opcji realnych dyskusją podstawowych założeń wyceny tych opcji.

Można sobie postawić pytanie dlaczego wśród trzech metod wyceny opcji rzeczywistych omówionych w pracy, znalazł się model Blacka-Scholesa? Model ten dotyczy opcji europejskiej, a opcje rzeczowe mają na ogół charakter opcji amerykańskich. Jednak model Blacka-Scholesa pełni rolę modelu referencyjnego dla modelu SWP, odgrywającego istotną rolę w procesie weryfikacji i walidacji modelu SWP. U podstaw obu konfrontowanych ze sobą modeli powinny leżeć te same założenia A trzeba pamiętać o tym, że eksperymenty symulacyjne wykonane z użyciem metody SWP, których wyniki zaprezentowano w pracy również dotyczyły opcji europejskiej. Rozumiejąc powody eksponowania w pracy modelu Blacka-Scholesa, w mojej opinii, istotnym uzupełnieniem mogłaby być prezentacja analitycznego modelu opcji opóźnienia z czasem ciągłym autorstwa A. Dixita i R. Pindycka, (*Investment under Uncertainty* (Princeton University Press, 1994, s. 147-152). Warto przypomnieć, że model ten przedstawia się następująco:

$$C(V) = AV^{\beta_1}, \quad \text{jeżeli } V < V^*$$

$$C(V) = V - I, \quad \text{jeżeli } V \geq V^*$$



przy czym:

$$\beta_1 = \frac{1}{2} - (r_f - \delta) / \sigma^2 + \left\{ \left[ (r_f - \delta) / \sigma^2 - \frac{1}{2} \right]^2 + 2r_f / \sigma^2 \right\}^{(1/2)},$$

gdzie:

$V$  – wartość instrumentu bazowego (korzyści z projektu inwestycyjnego),

$C(V)$  – wartość projektu z opcją opóźnienia,

$r_f$  – stopa zwrotu z aktywów pozbawionych ryzyka,

$\delta$  – „dywidenda”, koszt utraconych korzyści związany z odsuwaniem realizacji inwestycji, wyrażony jako procent wartości instrumentu bazowego,

$\sigma$  – odchylenie standardowe wartości instrumentu bazowego.

$V^*$  oznacza graniczną wartość instrumentu bazowego, czyli taką wartość, począwszy od której warto wykonać opcję; w literaturze angielskojęzycznej  $V^*$  określa się mianem: *threshold*,

Wartość graniczna instrumentu bazowego dana jest wzorem:  $V^* = \beta_1 / (\beta_1 - 1) \cdot I$ ; a wartość parametru  $A$  daje się obliczyć w sposób następujący:  $A = (V^* - I) / (V^*)^{\beta_1}$ .

Przedstawienie tego modelu dałoby również asumpt do szerszej dyskusji na temat sytuacji, w jakiej dokonywana jest wycena („świat bez ryzyka”, czy też wycena z uwzględnieniem hipotezy ryzyka). Warto przypomnieć, że Dixit i Pindyck przedstawiają zarówno model wyceny roszczenia warunkowego w świecie pozbawionym ryzyka, jak i analogiczny model oceny projektu inwestycyjnego z uwzględnieniem premii za ryzyko, uzyskany dzięki zastosowaniu programowania dynamicznego.

Za cenną część pracy uważam podrozdział 2.3. poświęcony problemom z wykorzystaniem opcji rzeczywistych w praktyce. Na szczególną uwagę zasługuje ocena wybranych metod wyceny (Model Blacka-Scholesa, drzewa dwumianowe, metoda Dataru-Mathewsa, metoda z wykorzystaniem koncepcji zbiorów rozmytych) przedstawiona w tabelach: 2.5 (s. 80) i 2.6 (s. 81). Uwagi sformułowane w tej części pracy znajdują swoje odzwierciedlenie w proponowanej przez Autora metodzie wyceny opcji rzeczywistych, SWP.

Pozytywnie oceniam podrozdział 3.1. poświęcony metodycznym aspektom konstrukcji symulacyjnego modelu wyceny opcji rzeczywistych. Wprawdzie procedura prowadząca do skonstruowania modelu opcyjnego SWP ma charakter heurystyczny i jest kompilacją procedur opisanych w publikacjach poświęconych modelowaniu symulacyjnemu, jednak jej opis zawarty w pracy uważam za niezbędny. Za nadzwyczaj ważny fragment pracy uważam także fragment uzasadniający potrzebę pójścia o krok dalej w stosunku do metody 2MC T. Wiśniewskiego.





Kluczowe znaczenie dla pracy ma rozdział 4. poświęcony wycenie prostych opcji rzeczywistych za pomocą metody SWP. Pozytywnie oceniam propozycję metody weryfikacji modelu, na którą składają się:

- a) sprawdzenie kompletności i spójności modelu,
- b) kontrola poprawności i stabilności procedury numerycznej,
- c) analiza poprawności generowanych wyników.

Także zastosowana metoda walidacji polegająca na porównaniu wyników generowanych przez model SWP z wynikami uzyskanymi z uznanego modelu Blacka-Scholesa może być uznana za poprawną. Uważam jednak, że wyraźniej należało wyeksponować fakt, że metoda SWP daje możliwość wyceny opcji amerykańskiej, a tylko dla celów walidacji została skonfrontowana z modelem Blacka-Scholesa. Metoda walidacji zastosowana przez Autora zakładająca brak dostępności odpowiednich danych, skłania również do postawienia pytania, czy na potrzeby walidacji modelu nie można by wykorzystać metody bootstrap? Ponadto, warto byłoby się zastanowić nad wykorzystaniem wspomnianego w niniejszej recenzji modelu Dixita, Pindycka, który także posiada analityczne rozwiązanie i jak się wydaje, jest lepiej dopasowany do specyfiki opcji rzeczywistych niż model Blacka-Scholesa.

Jeśli chodzi o sposób przeprowadzenia obliczeń, to nie budzi on zastrzeżeń, a na pozytywną ocenę zasługuje fakt zastosowania do obliczeń profesjonalnego oprogramowania Oracle Crystal Ball. Zastosowanie tego oprogramowania zwiększa wiarygodność uzyskanych rezultatów. Na uznanie zasługuje też duża liczba prowadzonych eksperymentów (100 tys. por. s. 136).

#### **4. Dostrzeżone nieścisłości, drobne błędy**

- 4.1. Krytyczna analiza literatury (por. sformułowanie celu cząstkowego na s. 8) jest metodą prowadzącą do realizacji określonego celu, a nie celem samym w sobie.
- 4.2. Stwierdzenie na s. 39: „Opcje takie są trudne do analizowania z uwagi na fakt, iż występują wzajemne powiązania a suma wartości kombinacji kilku opcji zawartych w jednym projekcie inwestycyjnym będzie mniejsza od sumy wartości opcji rozpatrywanych osobno.” jest nieścisłe. Addytywność wartości opcji albo jej brak zależy od wartości parametrów opcji.
- 4.3. Uwaga na s. 49 „Model Blacka-Scholesa, jego pochodne czy też drzewa dwumianowe są powszechnie wykorzystywanymi technikami wyceny opcji realnych.” jest dyskusyjna. Wg mojej wiedzy model Blacka-Scholesa nie jest powszechnie stosowanym modelem do wyceny opcji rzeczywistych.



- 4.4. Na s. 53 jest: „Proces Weinnera”, a powinno być: „Proces Wienera”
- 4.5. Autor dyskutując podstawowe założenia przyjmowane przy wycenie opcji rzeczywistych, wymienia obok siebie zupełność rynku i brak arbitrażu (s.51). Moim zdaniem nie jest to konieczne, gdyż założenie o zupełności rynku oznacza, że na rynku nie występuje zjawisko arbitrażu. Innymi słowy, z założenia o zupełności rynku wynika już brak arbitrażu. Warto nadmienić, że zależność w drugą stronę nie występuje.
- 4.6. Na s. 61 znajdujemy stwierdzenie „Wartość opcji wyznaczonej w świecie neutralnym wobec ryzyka będzie miała taką samą wartość jak w świecie nieobojętnym na ryzyko” Czy rzeczywiście? Odwołując się do metody obojętności na ryzyko, musiałaby zachodzić określona relacja między rzeczywistymi prawdopodobieństwami wzrostu (spadku) wartości instrumentu bazowego a kosztem kapitału, analogiczna do tej, która zachodzi między prawdopodobieństwami w świecie pozbawionym ryzyka a stopą zwrotu z inwestycji w tym świecie.
- 4.7. W przypisie na s. 66 znajdujemy stwierdzenie: „Logika rozmyta stanowi rozszerzenie klasycznego rozumowania na rozumowanie bliższe ludzkiemu”. Sic! Unikałbym tego typu kolokwializmów.
- 4.8. Wśród wad modelu Blacka – Scholesa jako metody wyceny opcji rzeczywistych, Autor wymienia fakt, że zmiany wartości aktywa bazowego są zgodne z geometrycznym ruchem Browna (por. Tabela 2.5 s. 80). Nie uznałbym tego za wadę.
- 4.9. Na s. 82 Autor formułuje taką uwagę: „Odejście w wycenie od nawiązania do rynku finansowego wydaje się naturalne i korzystne, zwłaszcza ze względu na łatwość szacowania parametrów przez menadżerów jak i precyzję estymacji wynikającą z ich wiedzy i doświadczenia.” Niezrozumiałe, dlaczego to nienawiązanie do sytuacji na rynku finansowym miałooby być „naturalne i korzystne”?
- 4.10. Tytuł rysunku 3.1. *Proces modelowania modelu symulacyjnego* (s. 87) powinien być zmieniony.
- 4.11. Klasyfikując modele symulacyjne (s. 88) Autor wyraźnie powinien zaznaczyć, że podstawą klasyfikacji są dwa różne kryteria.
- 4.12. Na s. 101 znajdujemy passus: „Należy także zauważyć, że geometryczny ruch Browna mający odzwierciedlać zmiany wartości aktywa bazowego został zastąpiony przez symulację.” Jednak przeprowadzając symulację też trzeba zakładać rozkłady zmiennych losowych obecnych w modelu. Jeśli nie ruch Browna, to jaki inny proces stochastyczny?
- 4.13. Na s. 103 razi kolokwializm „Ekonomiczna wartość elastyczności jest bardziej





przydatna w praktyce, gdyż nie jest abstrakcyjna.”

- 4.14. Dlaczego nazwisko Antikarov w dalszej części pracy występuje jako Anticarov? (por. np. s. 122).
- 4.15. Rzeczownik „wartość” jest rodzaju żeńskiego, stąd też zamiast zwrotu „model ten będzie miał NPV równe zero” , „powinno być model ten będzie miał NPV równa zero” – s. 132.
- 4.16. Nie jest jasne, jak zostały policzone różnice (SWP – BS) w % w tabelach 4.11 (s. 148) i 4.12 (s. 149) prezentujących wyniki walidacji modelu SWP w odniesieniu do opcji wzrostu. Jeśli różnice odnosimy do wartości opcji, czy to uzyskanej metodą SWP, czy BS, wyniki wydają się błędne. Podobnie wyniki odnośnie różnic (SWP-BS) w % odnośnie do opcji zakończenia działalności zamieszczone tabeli 4.28 również budzą wątpliwości

## 5. Wykorzystanie literatury przedmiotu

Bibliografia pracy jest bardzo obszerna. Większość cytowanych pozycji, to publikacje w języku angielskim, co świadczy o czerpaniu przez Autora z dorobku nauki światowej. Fakt ten jest atutem pracy. Brakuje jedynie odwołania do, jak się wydaje bardzo ważnej pozycji poświęconej opcjom rzeczywistym, a mianowicie do przytaczanej już pozycji Dixita i Pindycka, *Investment under Uncertainty*.

## 6. Język i forma pracy

Praca napisana została zrozumiałym językiem. Wywody są logiczne. Niedomaga interpunkcja. Pragnę także zwrócić uwagę na fakt, że rzeczownik *aktywa* w j. polskim jak do tej pory oficjalnie występuje tylko w liczbie mnogiej. Na usprawiedliwienie Autora, który posługuje się tym rzeczownikiem w liczbie pojedynczej, trzeba dodać, że coraz częściej słowo *aktywo* pojawia się w opracowaniach z zakresu finansów lub rachunkowości, co stwarza szansę na oficjalne uznanie tej formy na zasadzie uzusu językowego.

## 7. Podsumowanie

Sformułowane przeze mnie uwagi i wątpliwości mają bardziej charakter komentarzy i uzupełnień w stosunku do propozycji Autora i nie zmieniają mojego przekonania, że cel główny i cele cząstkowe zostały w pracy osiągnięte. Dysertacja doktorska Pana mgra Marcina Pawlaka zasługuje na pozytywną opinię i dowodzi umiejętności prowadzenia przez niej pracy naukowej na wysokim poziomie. Do szczególnych osiągnięć Autora należy zaliczyć:

1. Opracowanie nowej metody wyceny opcji realnych (rzeczywistych, rzeczowych), symulacyjnej wyceny porównawczej (SWP) wywodzącej się z metody dwukrotnej symulacji Monte Carlo (2MC).
2. Zaproponowanie metody walidacji modelu w sytuacji braku możliwości porównania wyników generowanych przez model z danymi rzeczywistymi.

W związku z powyższym, stwierdzam, że rozprawa Pana mgra Marcina Pawlaka pod tytułem: *Zastosowanie dwukrotnej symulacji Monte Carlo w wycenie opcji realnych* odpowiada wymogom stawianym rozprawom doktorskim w ustawie z dnia 14 marca 2003r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. 2003 nr 65 poz. 595 z późn. zm.) i wnoszę o przyjęcie i dopuszczenie jej do publicznej obrony.

Ponadto ze względu na wysoki poziom merytoryczny dysertacji wnoszę o jej nagrodzenie w ramach systemu nagród obowiązującego w Uniwersytecie Szczecińskim w Szczecinie.

